

## 第7章 脉冲波形的产生和整形

# 教学内容

§ 7.1 概述

§ 7.2 施密特触发电路

§ 7.3 单稳态电路

§ 7.4 多谐振荡电路

§ 7.5 555定时器及其应用

# 教学要求

## 一. 重点掌握的内容:

- (1) 555定时器及其应用.
- (2) 石英晶体多谐振荡电路.

## 二. 一般掌握的内容:

- (1) 施密特触发电路、单稳态电路、多谐振荡电路的工作特点和典型应用。
- (2) 施密特触发电路、单稳态电路输入电压与输出电压之间的关系；多谐振荡电路振荡周期的估算方法。

# 7.1 概述

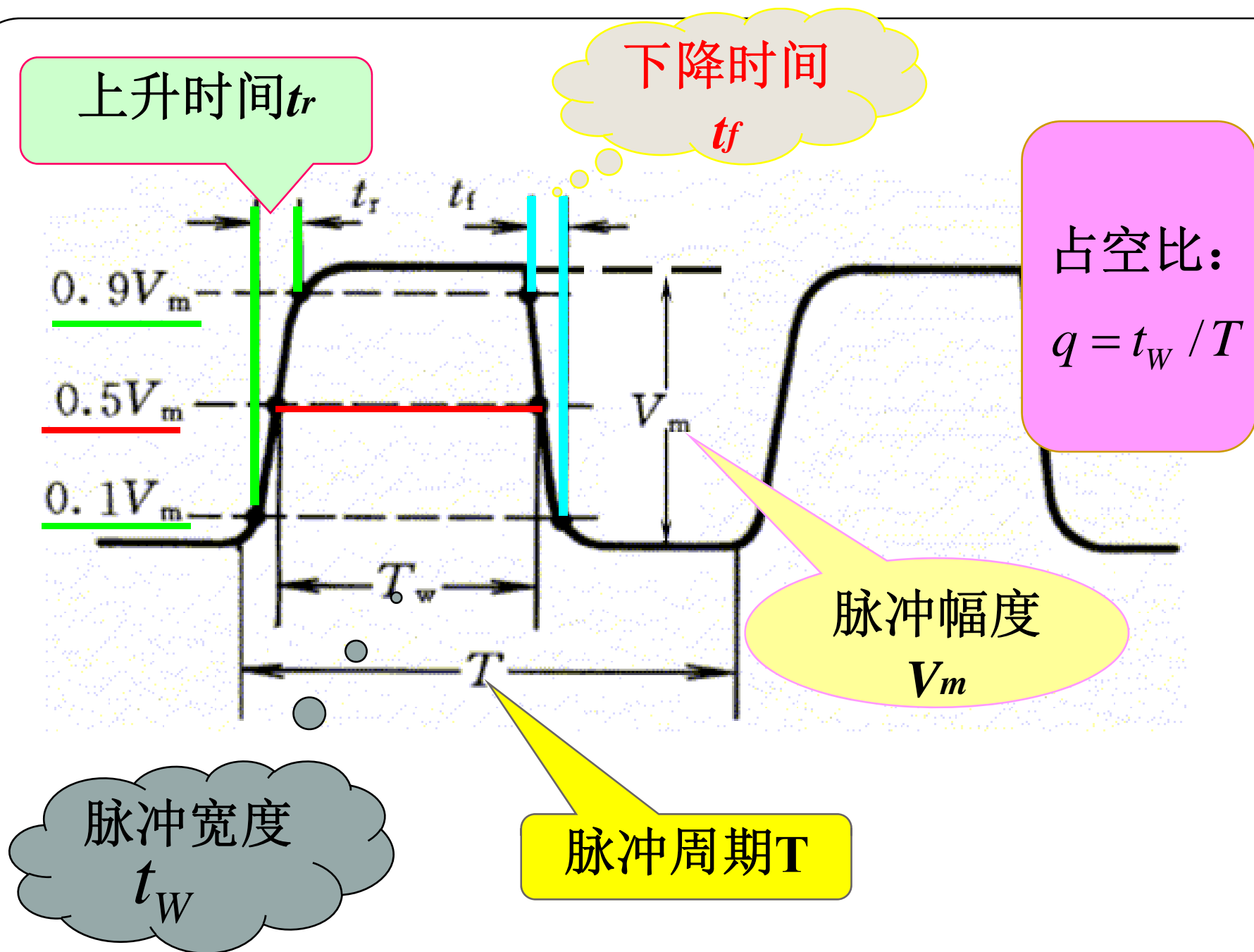
矩形脉冲信号的获取方法有两种：

**产生**:不用信号源，加上电源自激振荡，直接产生波形。

**整形**:输入信号源进行整形。

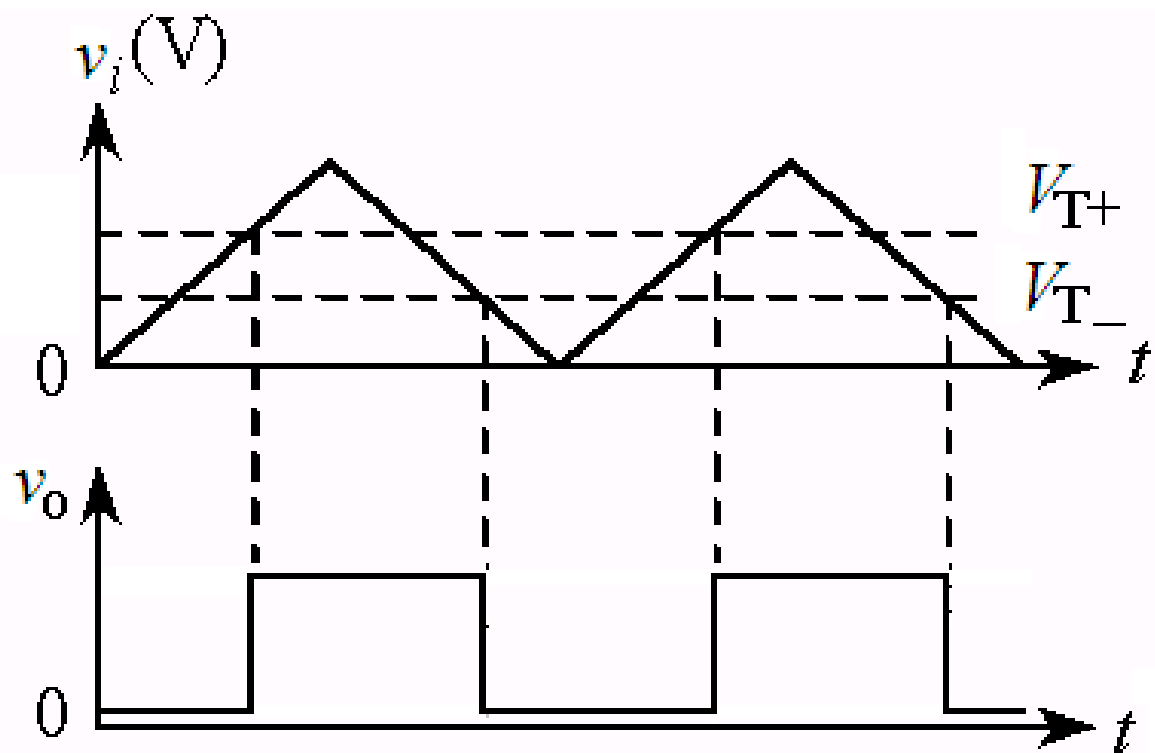
脉冲产生电路:多谐振荡电路

脉冲整形（变换）电路:施密特触发电路、  
单稳态电路



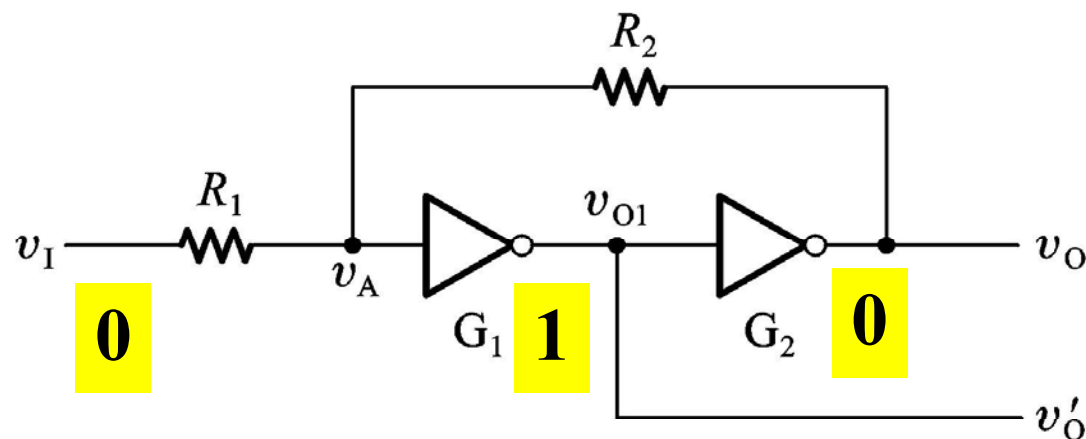
## 7.2 施密特触发电路

施密特触发电路是一种能够把输入波形整形成为适合于数字电路需要的矩形脉冲的电路。



工作波形

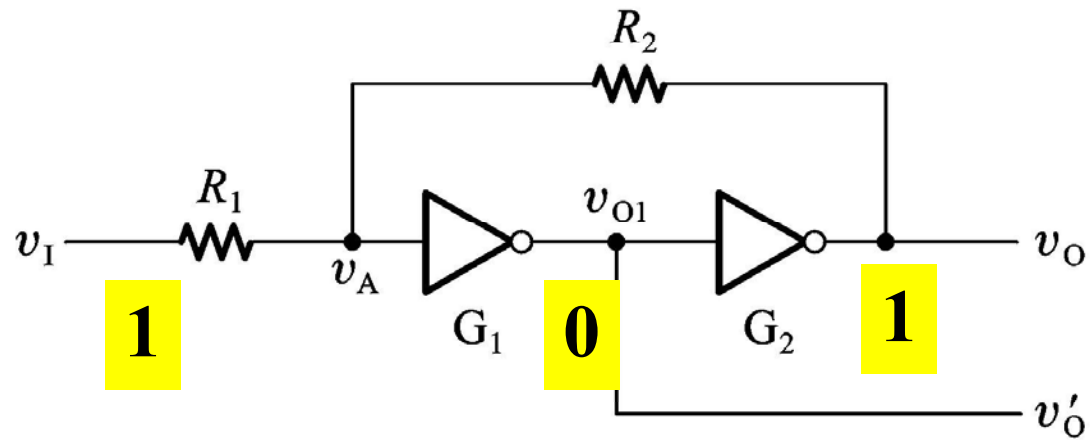
## § 7.2.1 用门电路组成的施密特触发电路



设  $G_1$ 、 $G_2$  阈值电压  $V_{TH} \approx V_{DD}/2$ ,

$$v_I = 0 \quad v_I \uparrow \rightarrow v_A \uparrow \rightarrow v_{O1} \downarrow \rightarrow v_O \uparrow$$

$$v_A = V_{TH} \approx \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{T+} \quad V_{T+} = \frac{R_1 + R_2}{R_2} V_{TH} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) V_{TH}$$



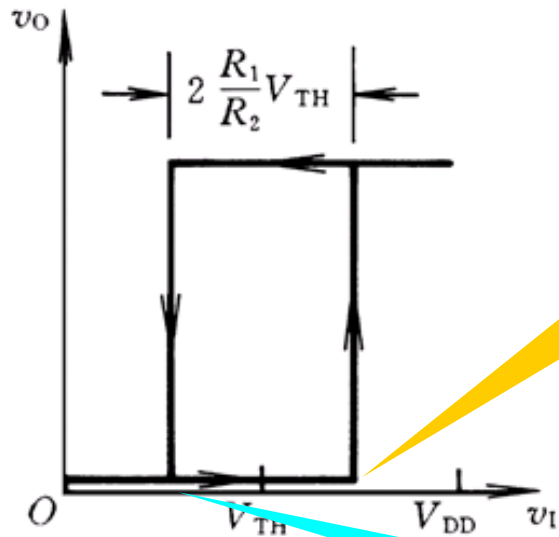
$$v_I = 1 \quad v_I \downarrow \rightarrow v_A \downarrow \rightarrow v_{O1} \uparrow \rightarrow v_O \downarrow$$

$$V_{T-} = \left(1 - \frac{R_1}{R_2}\right) V_{TH}$$

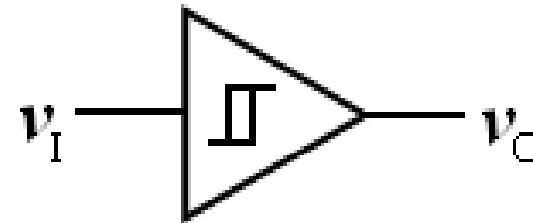
$R_1 < R_2$  (否则电路进入自锁状态,不能正常工作)



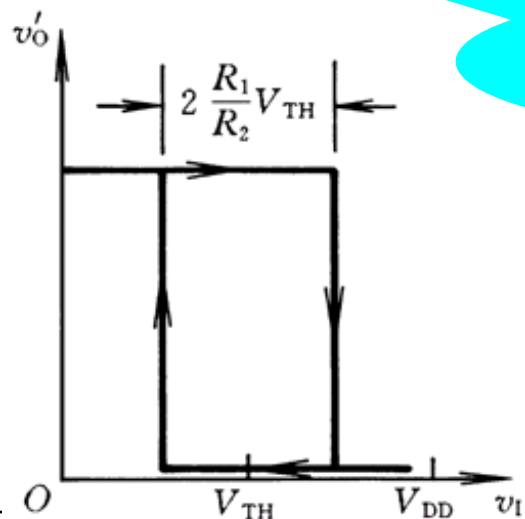
**滞回电压传输特性**，即输入电压的上升过程和下降过程的阈值电平不同。这是施密特触发电路固有的特性。



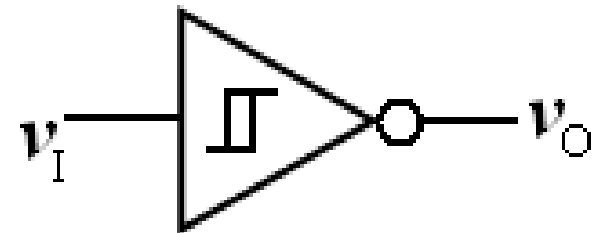
正向阈值电压



同相输出的施密特触发电路



负向阈值电压

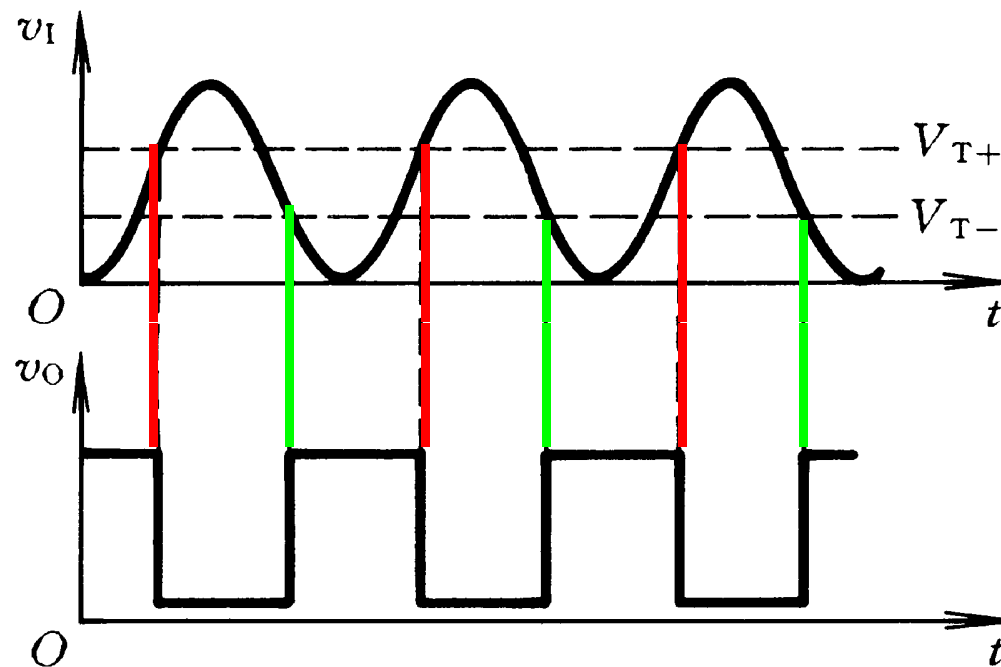
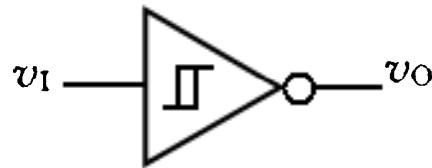


反相输出的施密特触发电路

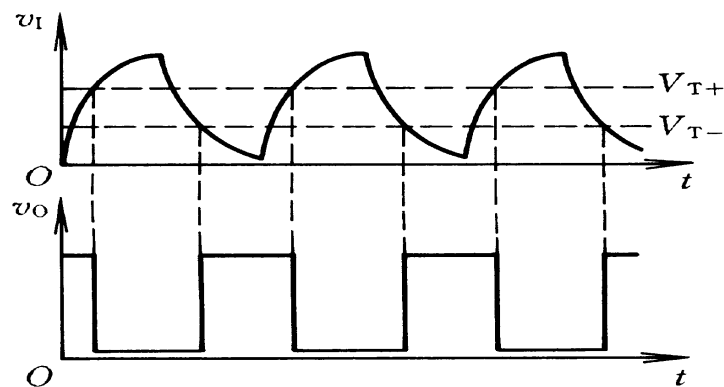
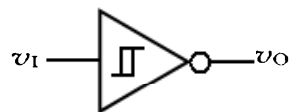
回差电压:  $\Delta V_T = V_{T+} - V_{T-}$

## § 7.2.3 施密特触发电路的应用

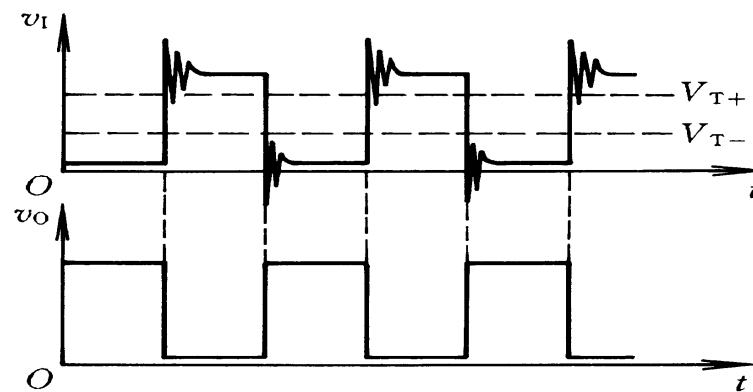
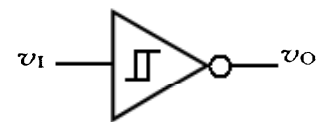
### 1. 用于波形变换:



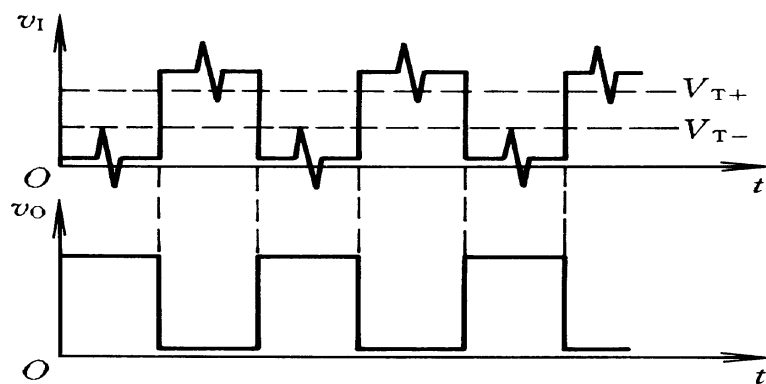
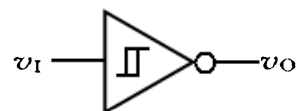
## 2. 用于脉冲整形:



(a)

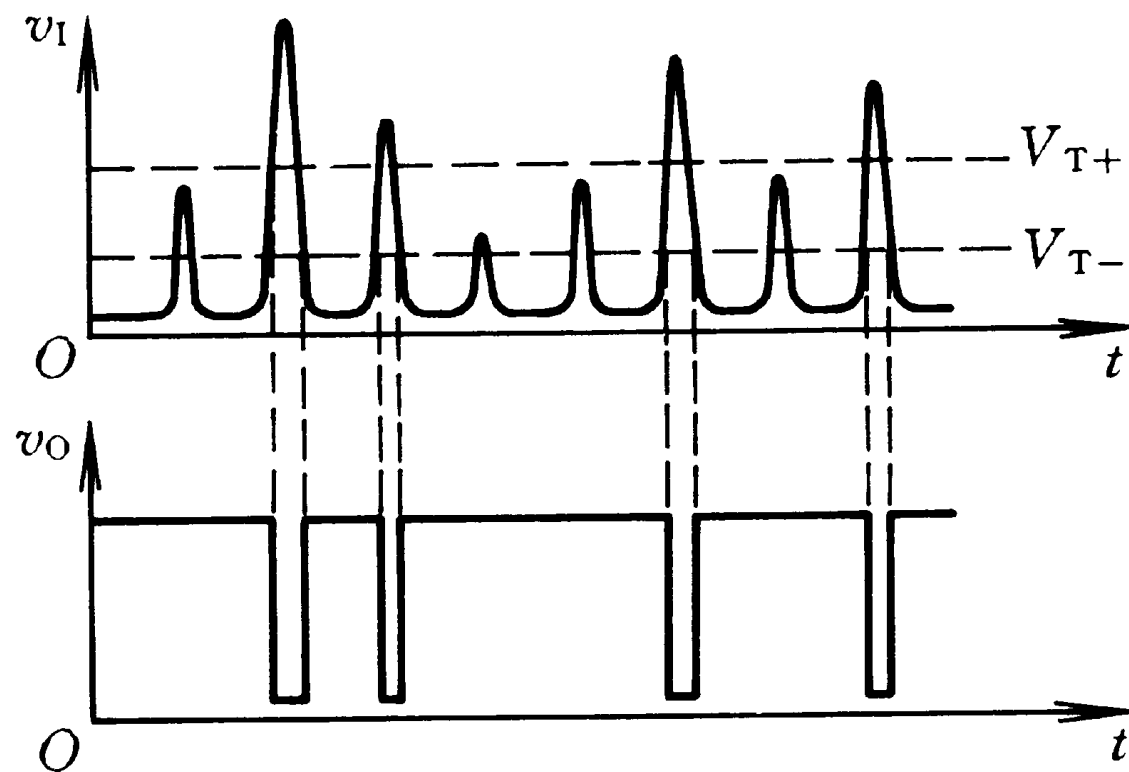
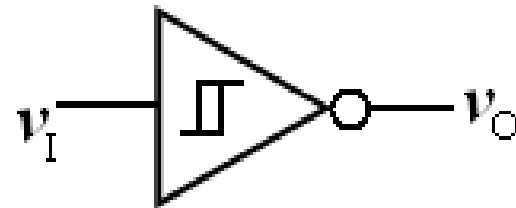


(b)



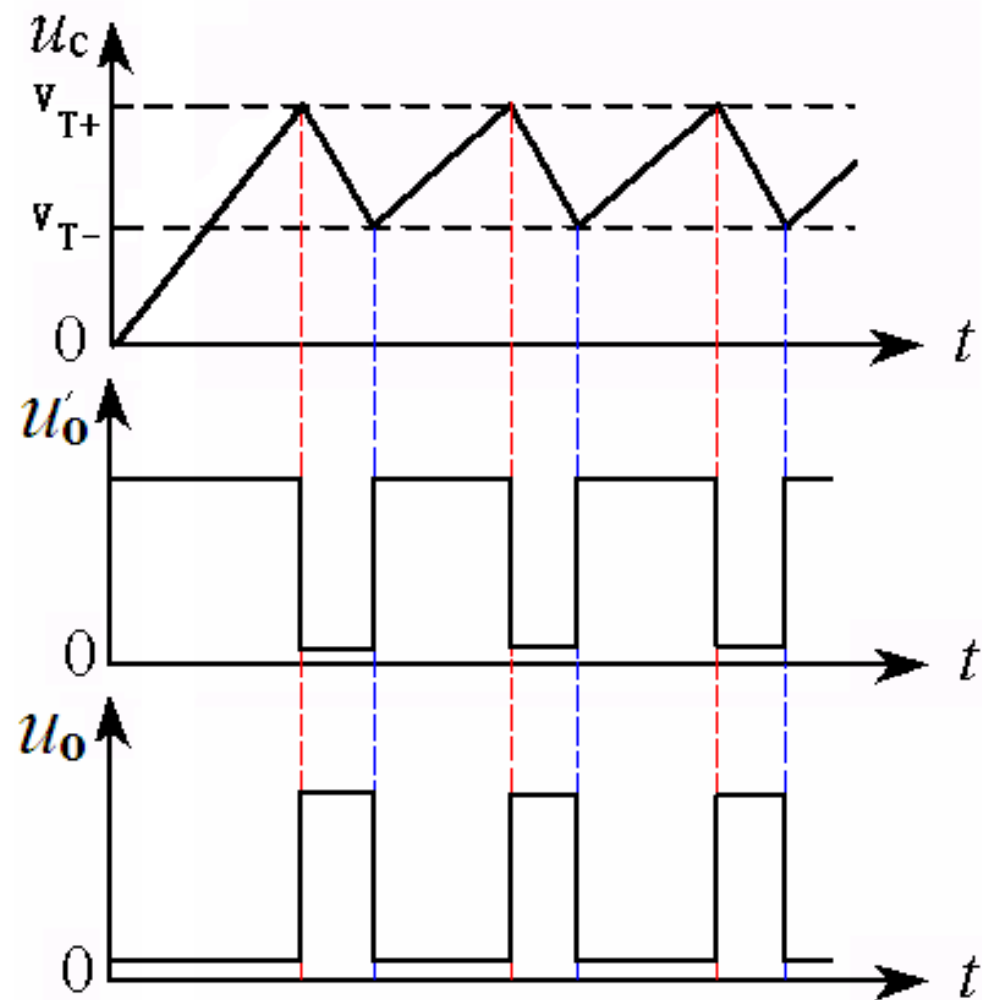
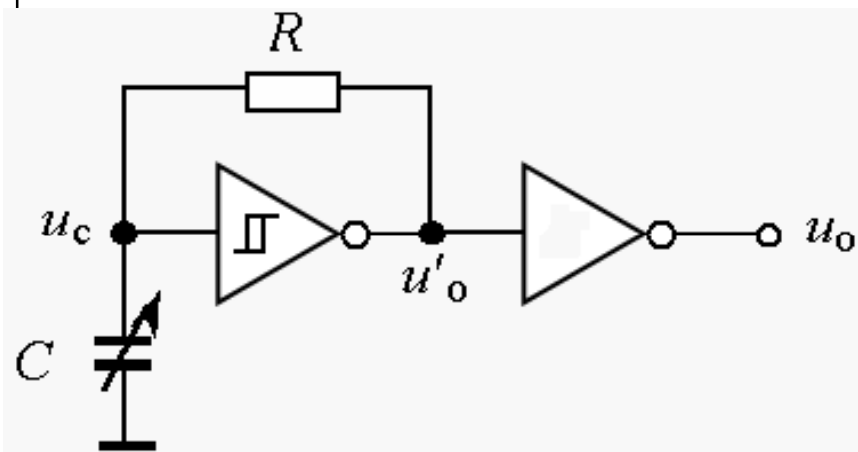
(c)

### 3. 用于脉冲鉴幅:



施密特触发器能将幅度大于  $V_{T+}$  的脉冲选出。

#### 4.用于构成多谐振荡器:



## 本节小结

施密特触发电路具有两个稳定的状态，是一种能够把输入波形整形成为适合于数字电路需要的矩形脉冲的电路。而且由于具有滞回特性，所以抗干扰能力也很强。

施密特触发电路可以由分立元件构成，也可以由门电路及555定时器构成。

施密特触发电路在脉冲的产生和整形电路中应用很广。

## 7.3 单稳态电路

### 工作特点：

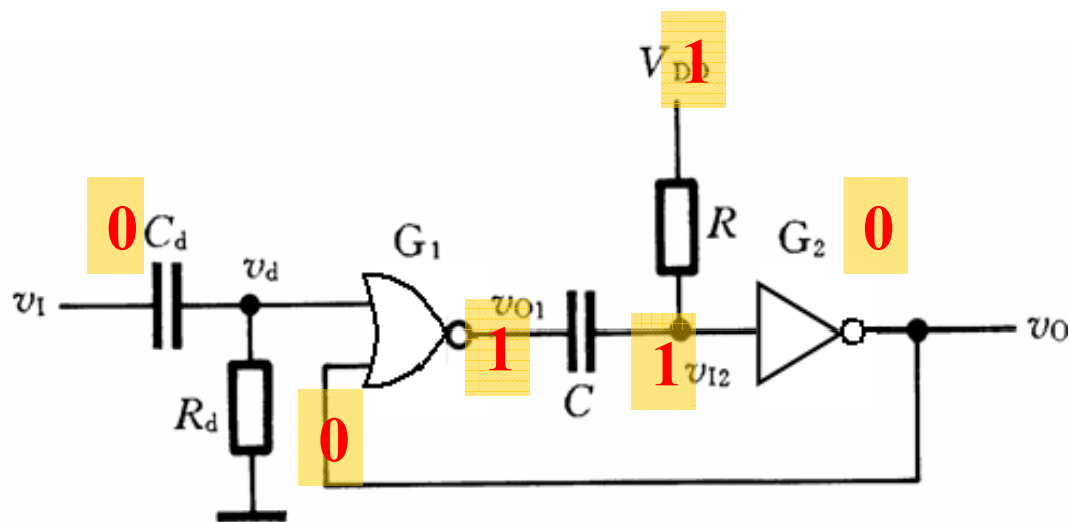
- 1、电路中有一个稳态和一个暂稳态两个工作状态；
- 2、在外界触发脉冲作用下，电路能从稳态翻转至暂稳态，在暂稳态维持一段时间后，再自动翻转至稳态；
- 3、暂稳态维持时间的长短取决于电路本身的参数与触发脉冲无关。

### § 7.3.1 用门电路组成的单稳态电路

单稳态电路因为电路具有一个稳定状态而得名。它由两个门电路、一个**RC**电路组成。它的暂稳态通常都是靠**RC**电路的充、放电过程来维持的，根据**RC**电路的不同接法，分为微分型和积分型。

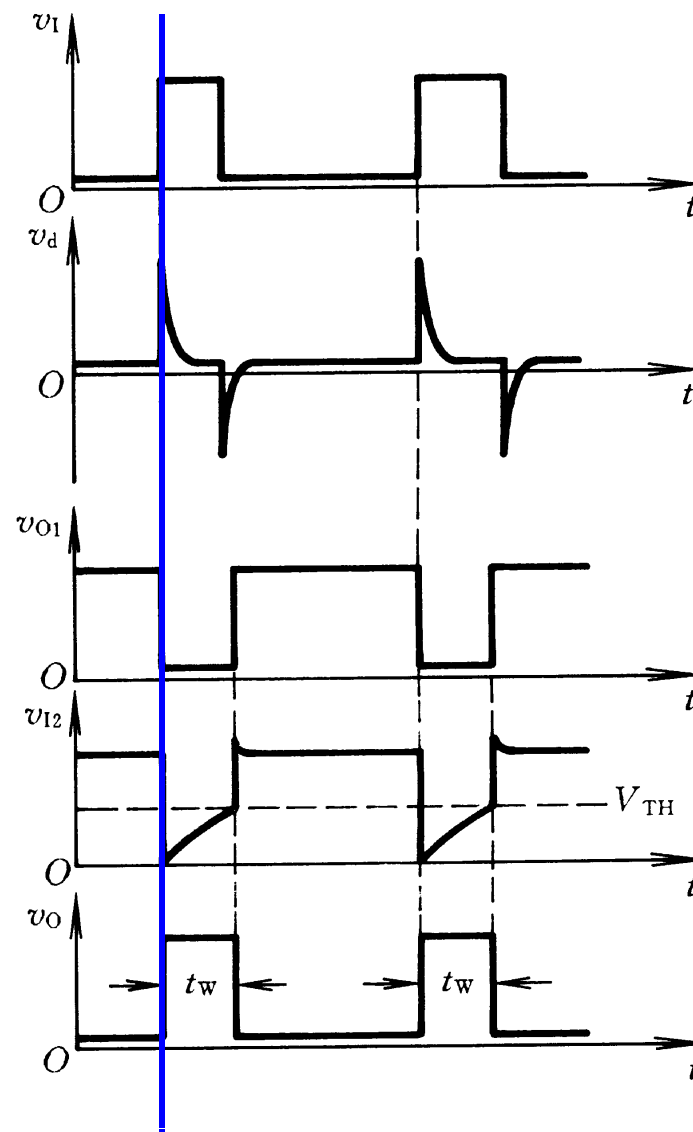


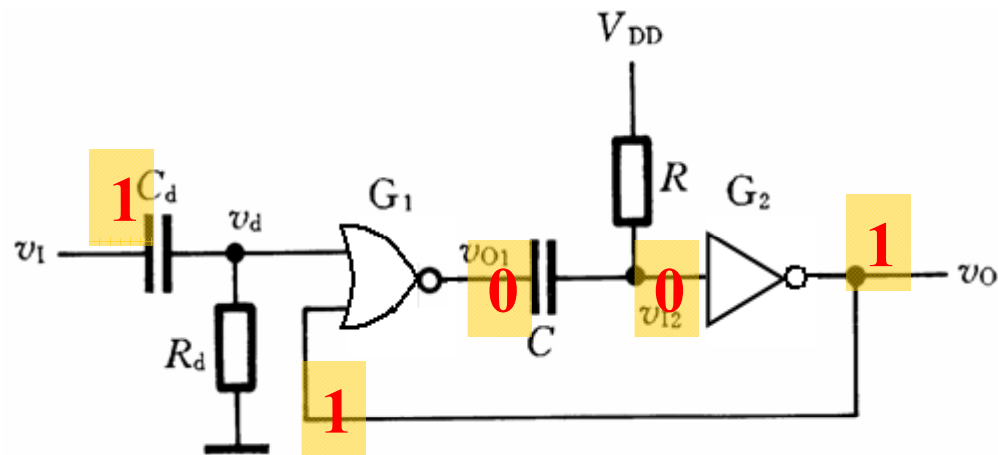
# 微分型



## 稳态

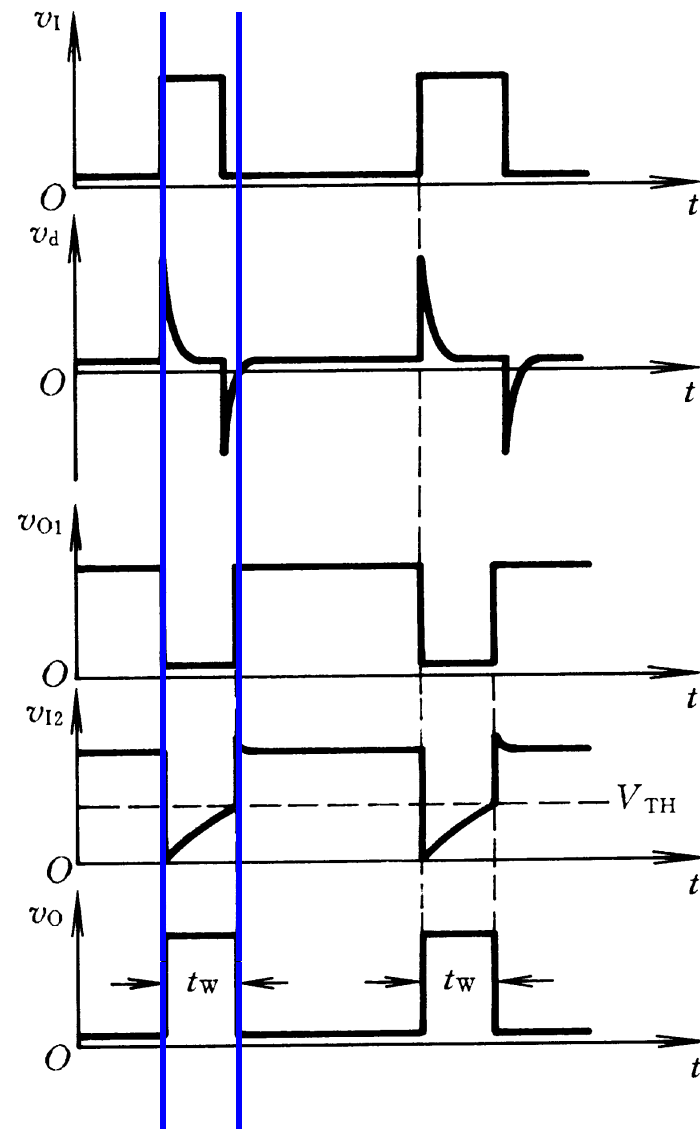
没有触发器电平时， $v_I$ 为低电平， $v_O$ 为低电平， $v_{O1}$ 为高电平。



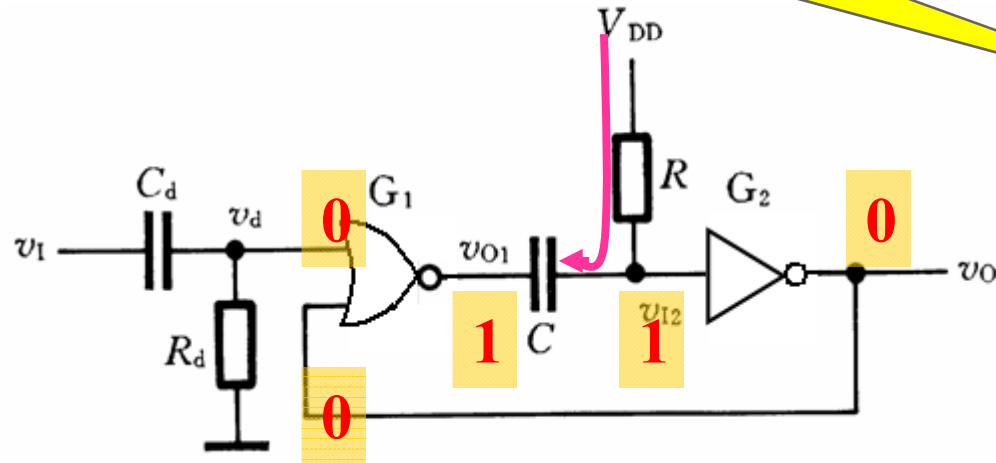


## 稳态至暂稳态

当 $v_I$ 正跳变时， $v_{O1}$ 由高到低， $v_{I2}$ 为低电平。于是 $v_O$ 为高电平。即使 $v_I$ 触发器信号撤除，由于 $v_O$ 的作用， $v_{O1}$ 仍可为低电平。

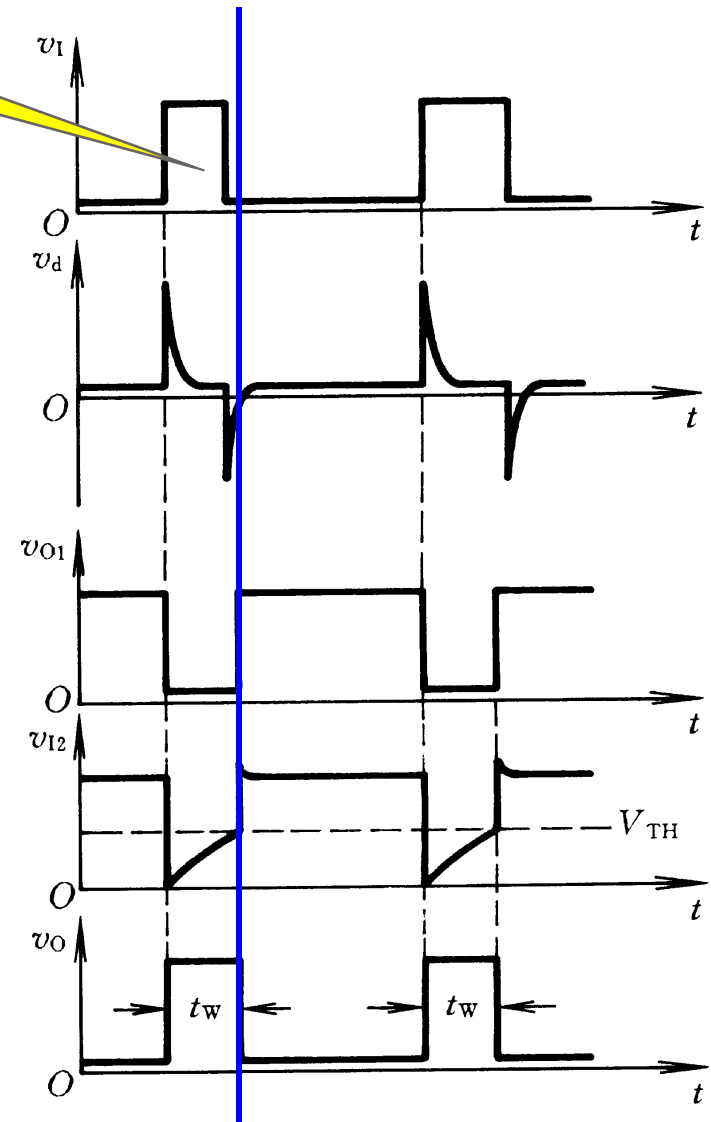


脉冲宽度要窄

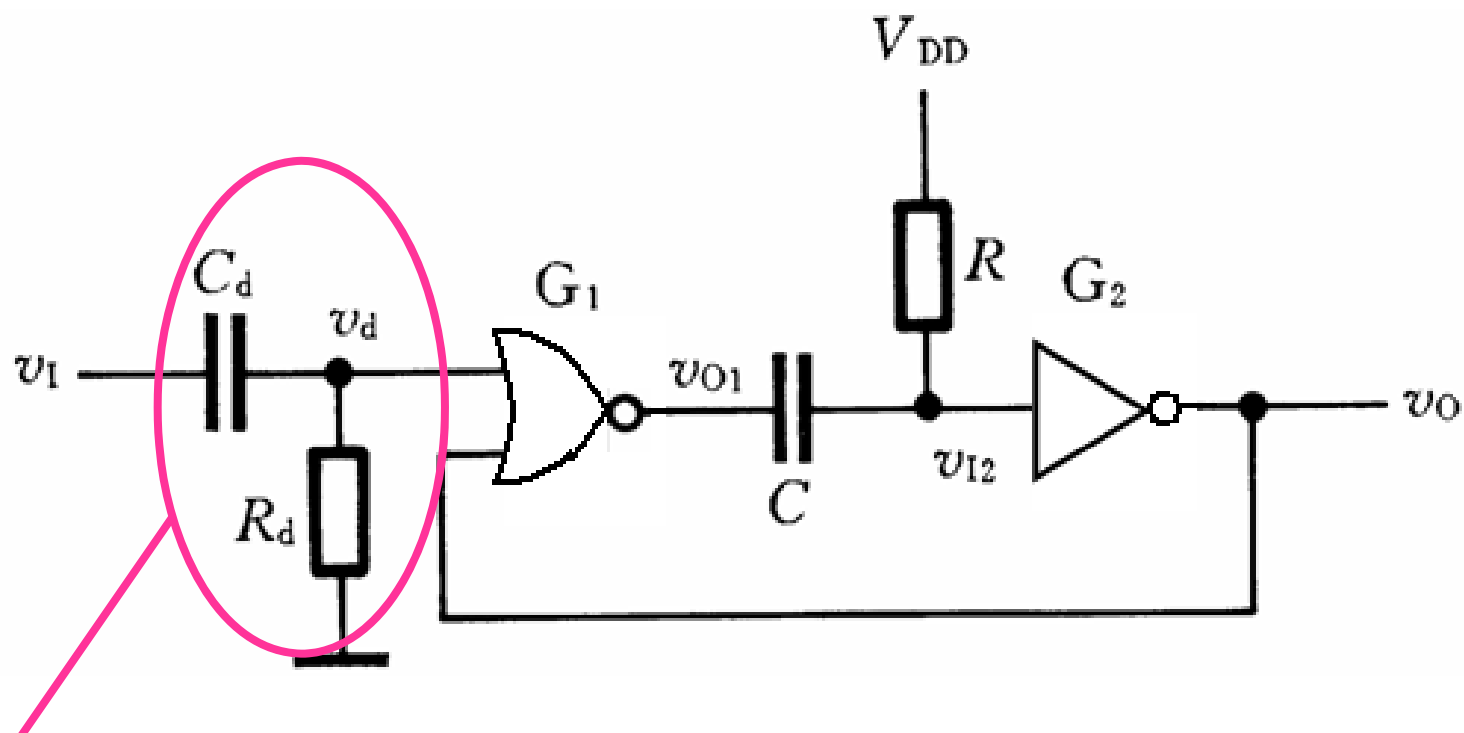


## 暂稳态至稳态

暂稳态期间，电源经电阻  $R$  和门  $G_1$  对电容  $C$  充电， $v_{I2}$  升高，当  $v_{I2} = V_{TH}$  时， $v_O$  下降， $v_{O1}$  上升，但使  $v_{I2}$  再次升高，最终  $v_{O1} = 1$ ， $v_O = 0$ 。

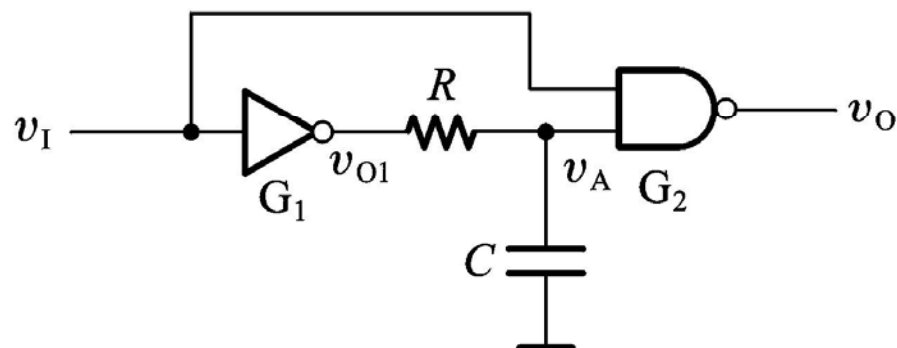


$$t_w = 0.69RC$$



当 $v_I$ 的脉冲宽度很宽时，在单稳态电路的输入端加一个 $RC$ 微分电路，否则，在电路由暂稳态返回到稳态时，由于门 $G_1$ 被 $v_I$ 封住了，会使 $v_O$ 的下降沿变缓。

# 积分型

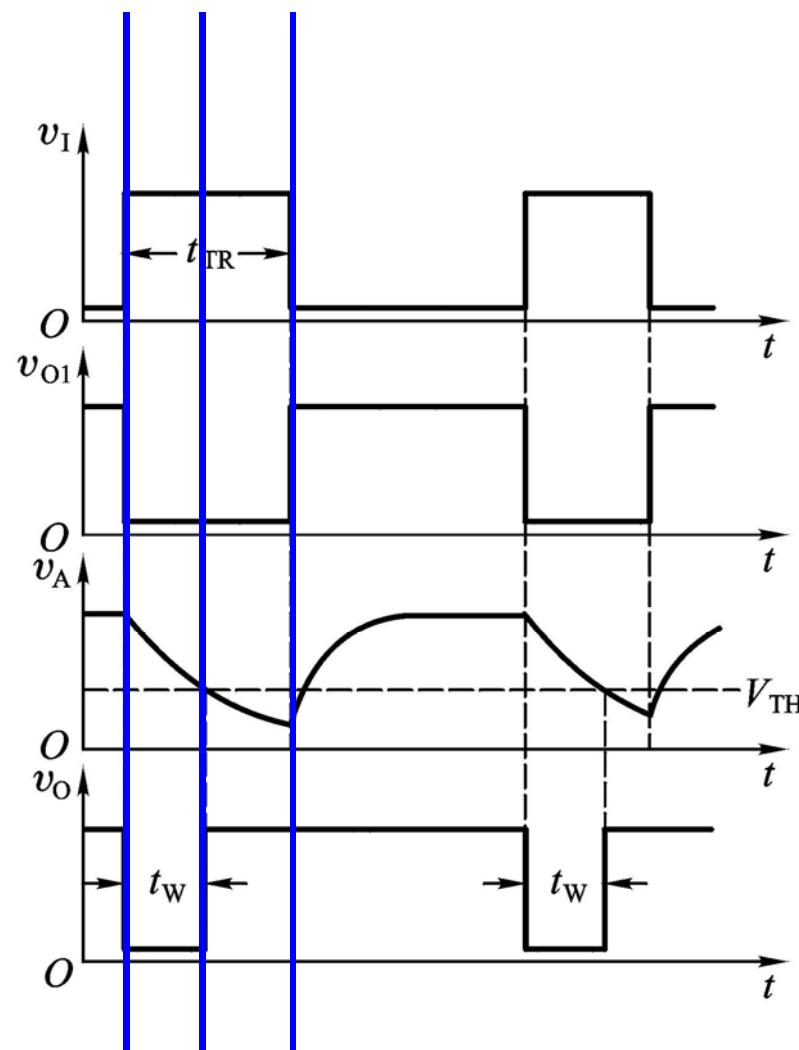


\*稳态下:  $V_I = 0, V_O = 1$ ,  
( $V_{O1} = V_{OH}$ ),  $V_A = V_{OH}$ ;

\* $V_I \uparrow$  后,  $V_O = 0$ , 进入暂稳态,  
 $V_{O1} = 0$ ,  $C$  开始放电;

\*当放至  $V_A = V_{TH}$  后,  $V_O = 1$ , 返

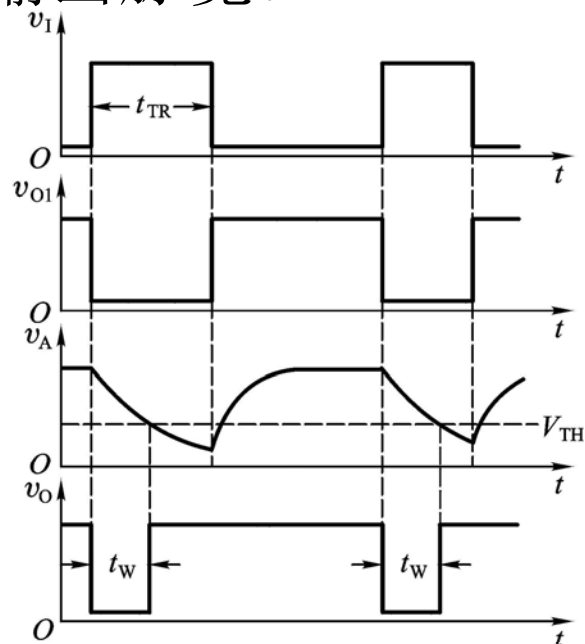
\* $V_I \downarrow$  后,  $C$  重新充电至  $V_{OH}$ , 恢复初始态;



$$t_w = RC \ln \frac{V_{(\infty)} - V_{(0)}}{V_{(\infty)} - V_{(t)}} = RC \ln \frac{V_{OH}}{V_{TH}}$$

## 2. 性能参数计算

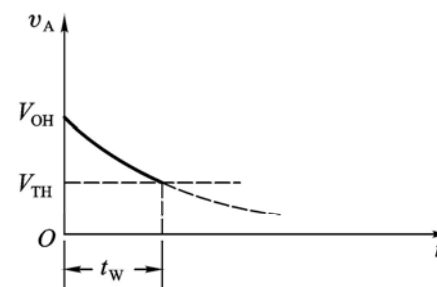
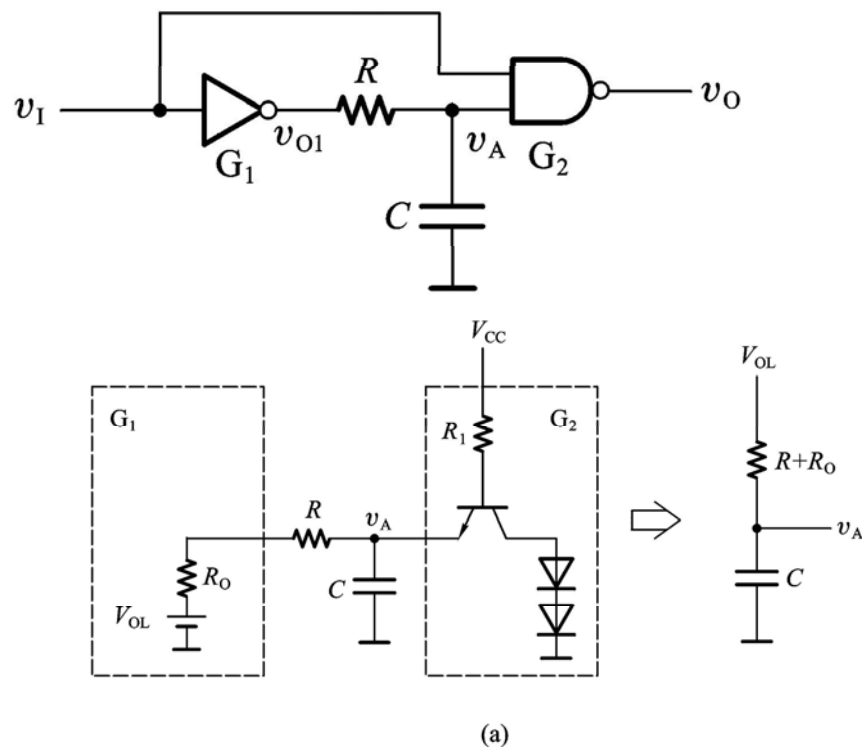
输出脉宽:



$$t_w = RC \ln \frac{V_{(\infty)} - V_{(0)}}{V_{(\infty)} - V_{(t)}} = RC \ln \frac{V_{OH}}{V_{TH}}$$

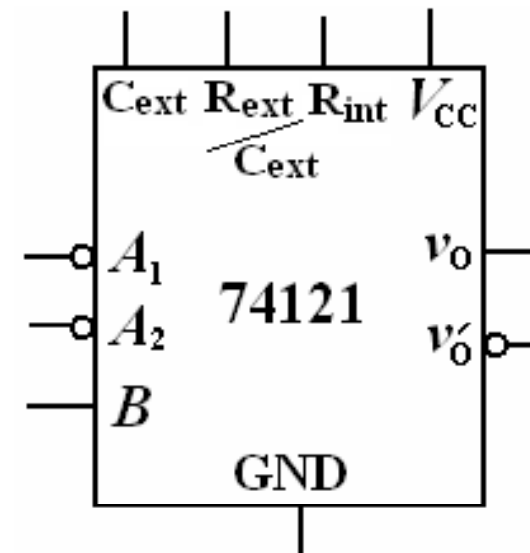
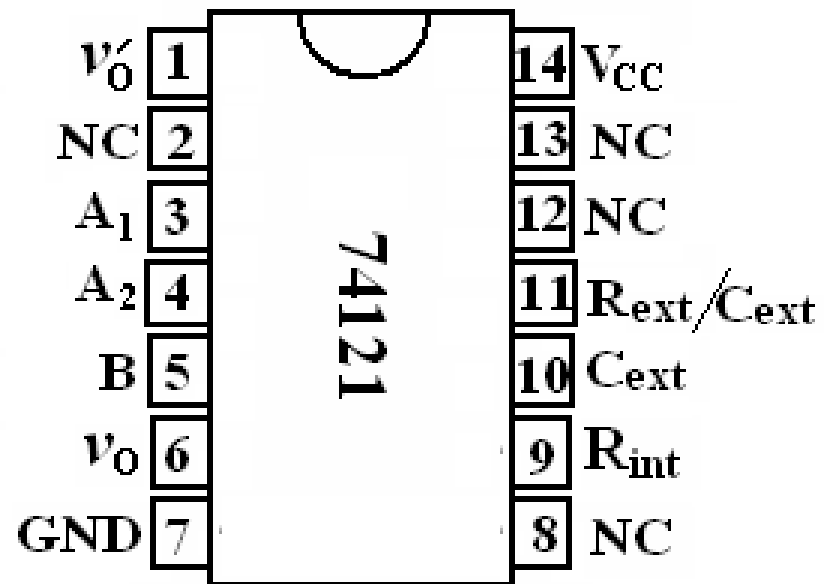
$$t_{re} = (3 \sim 5)(R + R'_O)C$$

$t_d = t_{TR} + t_{re}$  输出脉冲宽度 ( $V_O = 0$  时间) 等于  $V_A$  从  $V_{OH}$  放电至  $V_{TH}$  的时间。



(b)

## § 7.3.2 集成单稳态电路



功能表见表7.3.1

$$t_W = 0.69 R_{ext} C_{ext}$$

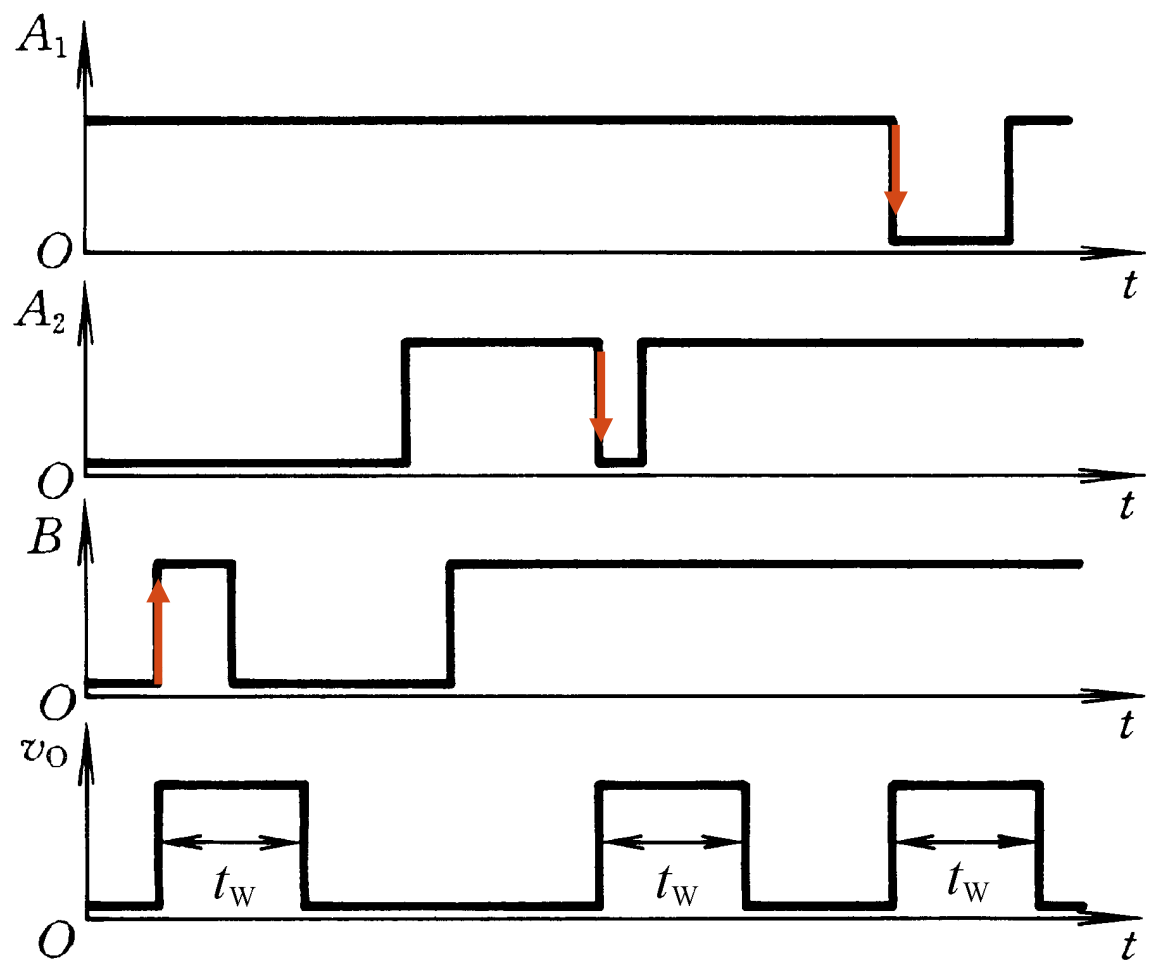
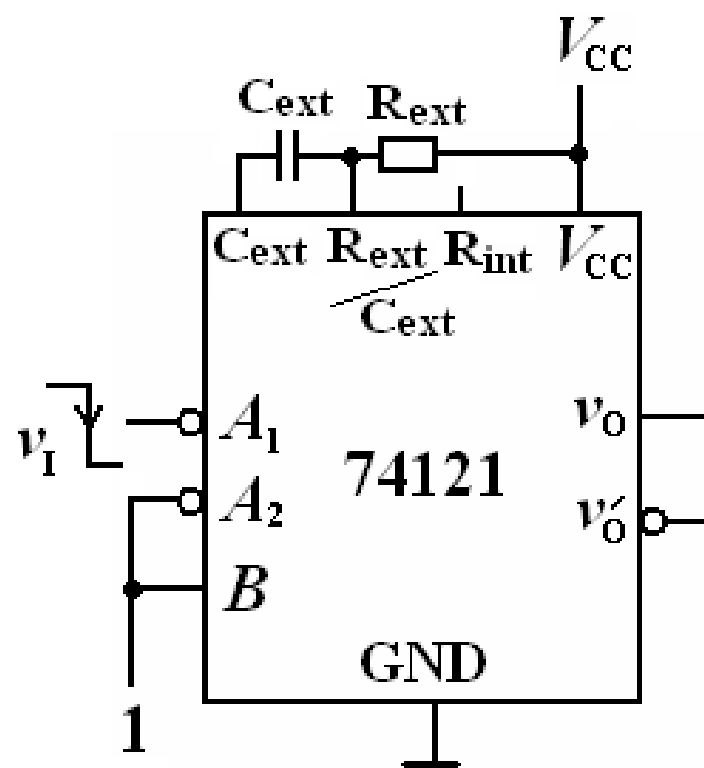
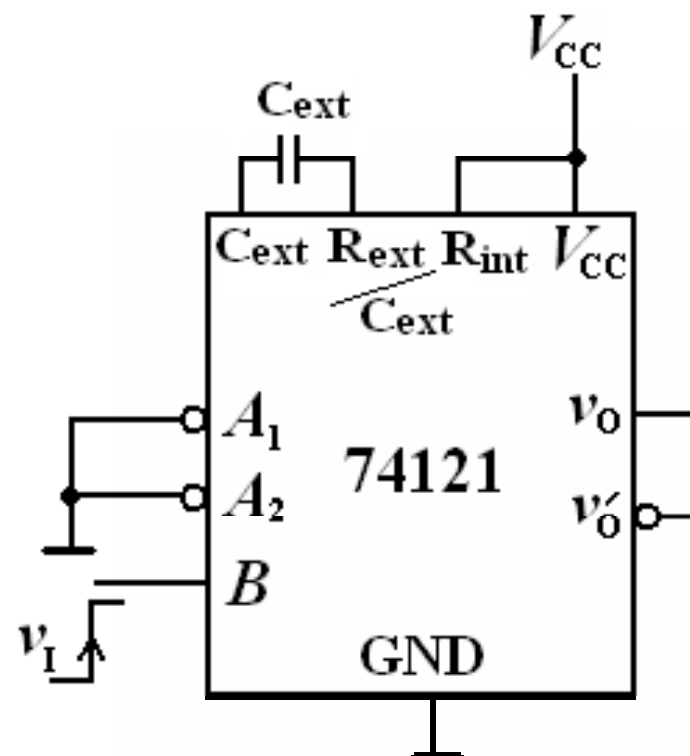


图7.3.10



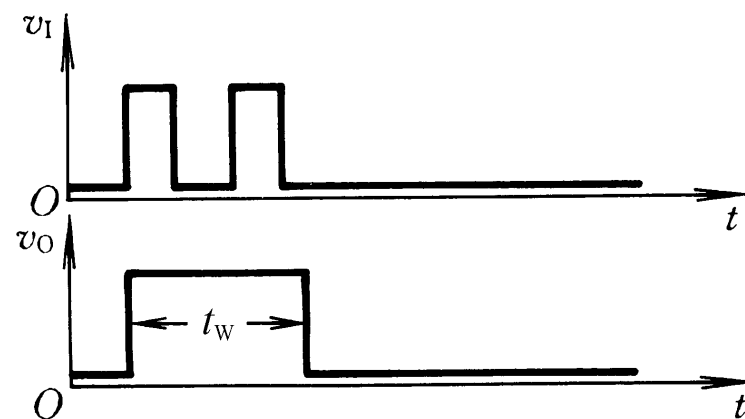


外接电阻  
(下降沿触发)



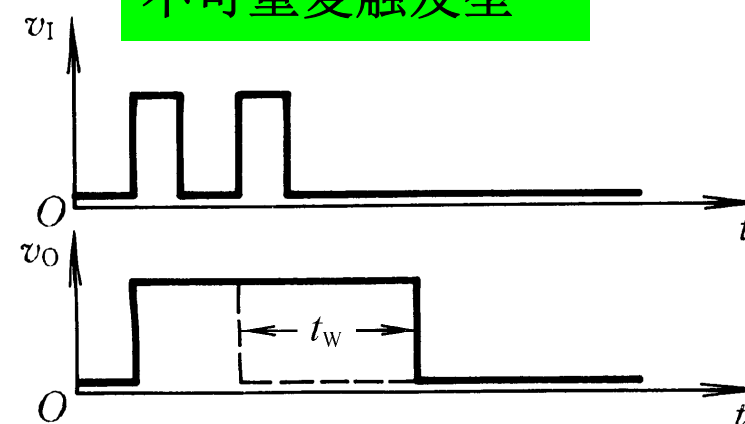
内部电阻  
(上升沿触发)

目前使用的集成单稳态触发器有不可重复触发型和可重复触发型两种。不可重复触发的单稳态触发器一旦被触发进入暂稳态后，再加入触发脉冲不会影响电路的工作过程，必须在暂稳态结束后，才接受下一个触发脉冲而转入暂稳态。可重复触发的单稳态触发器进入暂稳态后，如果再次加入触发脉冲，电路将重新被触发，使输出脉冲再继续维持一个 $t_w$ 宽度。



(a)

不可重复触发型

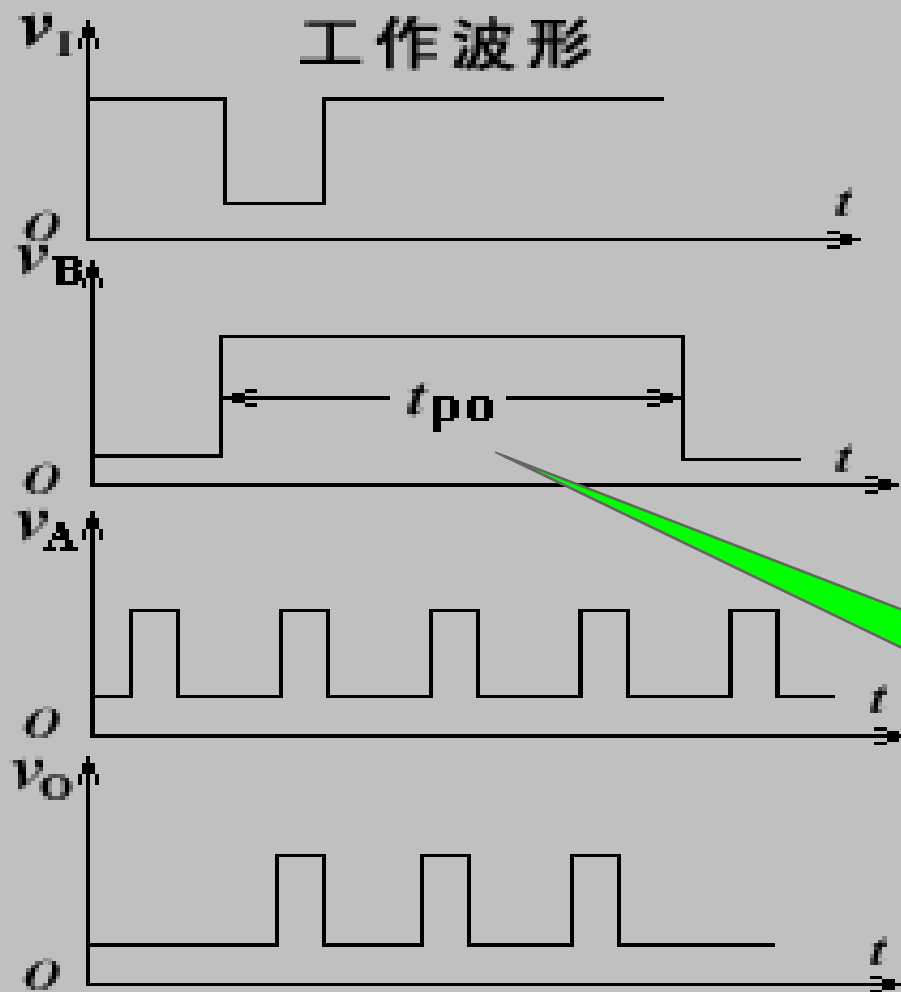


(b)

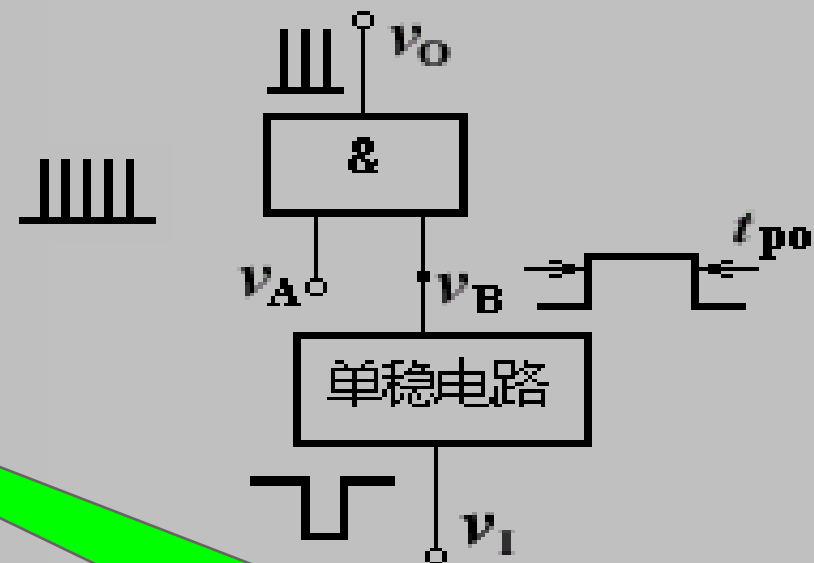
可重复触发型

### § 7.3.3 单稳态电路的应用

#### 1、定时



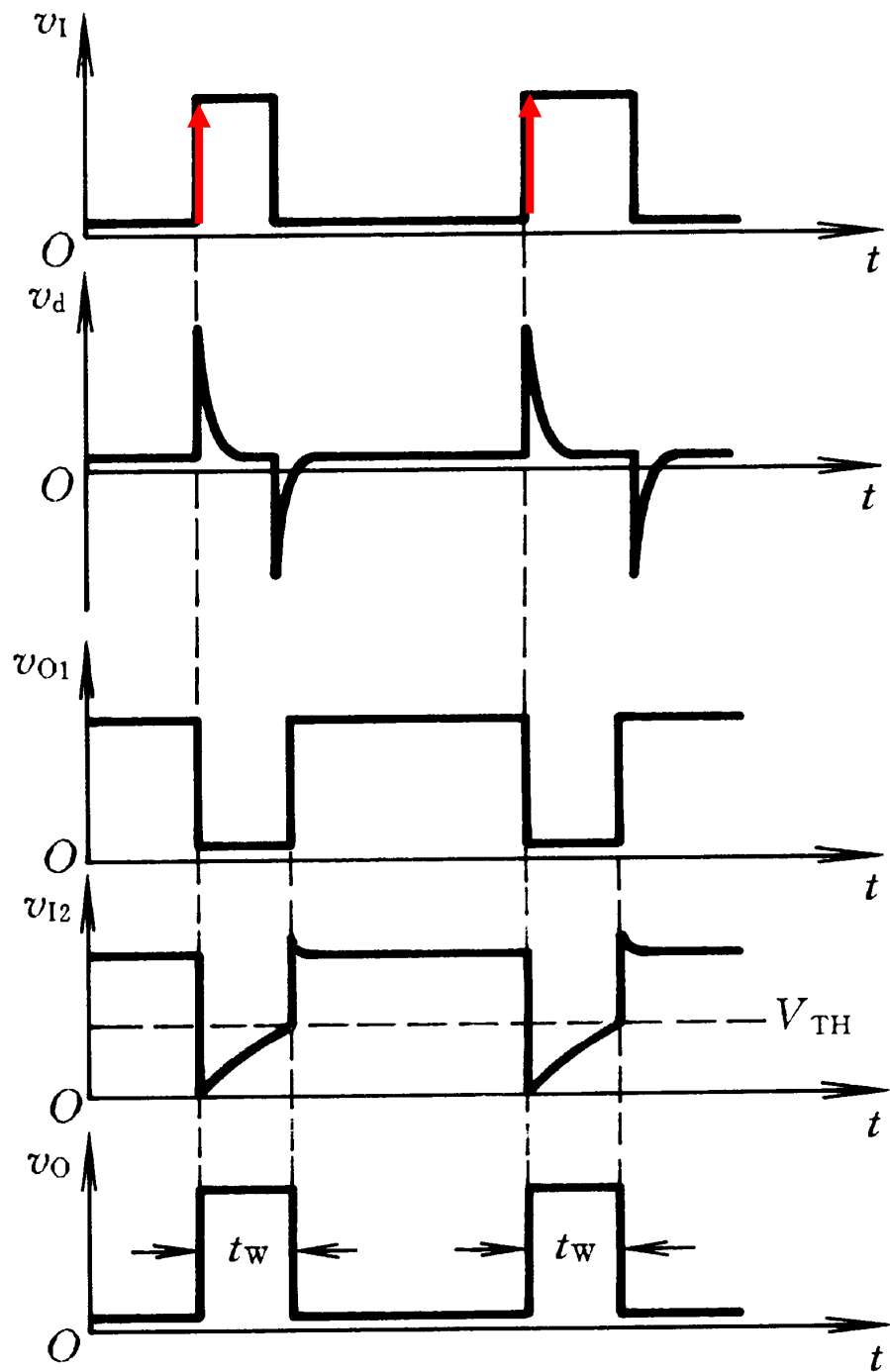
原理电路



只有在脉冲宽度  $t_{po}$  内的信号才能通过。

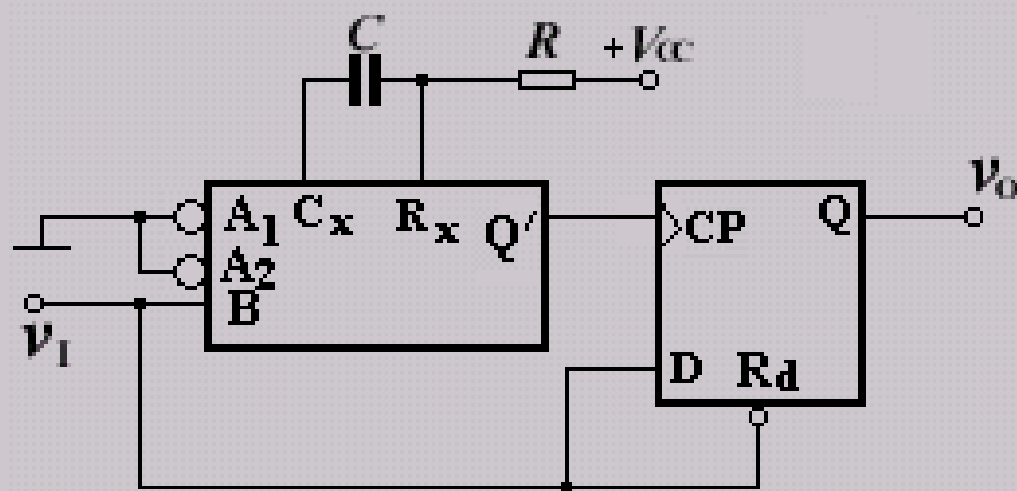
## 2、延时与整形

可将脉冲宽度不等的矩形脉冲整形成脉冲宽度相等的矩形波。



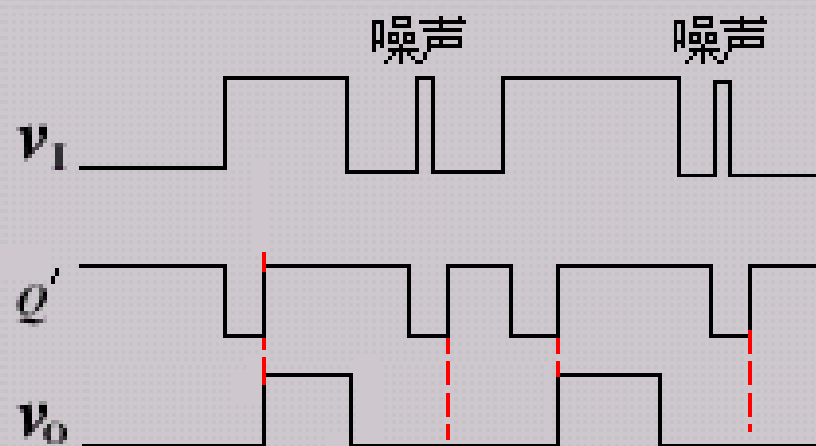
### 3、消除噪声

通常噪声多表现为尖脉冲，宽度较窄，而有用的信号都具有一定的宽度。因此，利用单稳态电路，将输出脉宽调节到大于噪声宽度而小于信号宽度即可消除噪声。



噪声消除电路

原理电路



波形

## 本节小结

单稳态电路具有一个稳态和一个暂稳态。在单稳态触发器中,由稳态到暂稳态需要输入触发脉冲,暂稳态的持续时间即脉冲宽度是由电路的阻容元件 $RC$ 决定的,与输入信号无关。

单稳态电路可以由门电路构成,也可以由555定时器构成。

单稳态电路可以用于产生固定宽度的脉冲信号,用途很广。

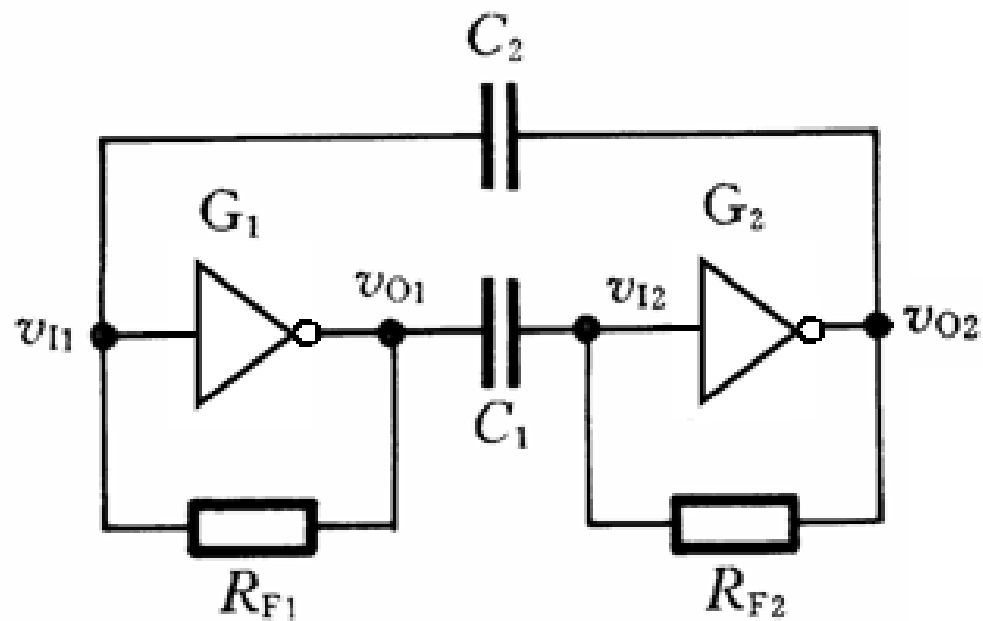
## 7.4 多谐振荡电路

多谐振荡电路又称无稳电路，主要用于产生各种方波或时间脉冲信号。它是一种自激振荡器，在接通电源之后，不需要外加触发信号，便能自动地产生矩形脉冲波。由于矩形脉冲波中含有丰富的高次谐波分量，所以习惯上又把矩形波振荡器称为多谐振荡器。

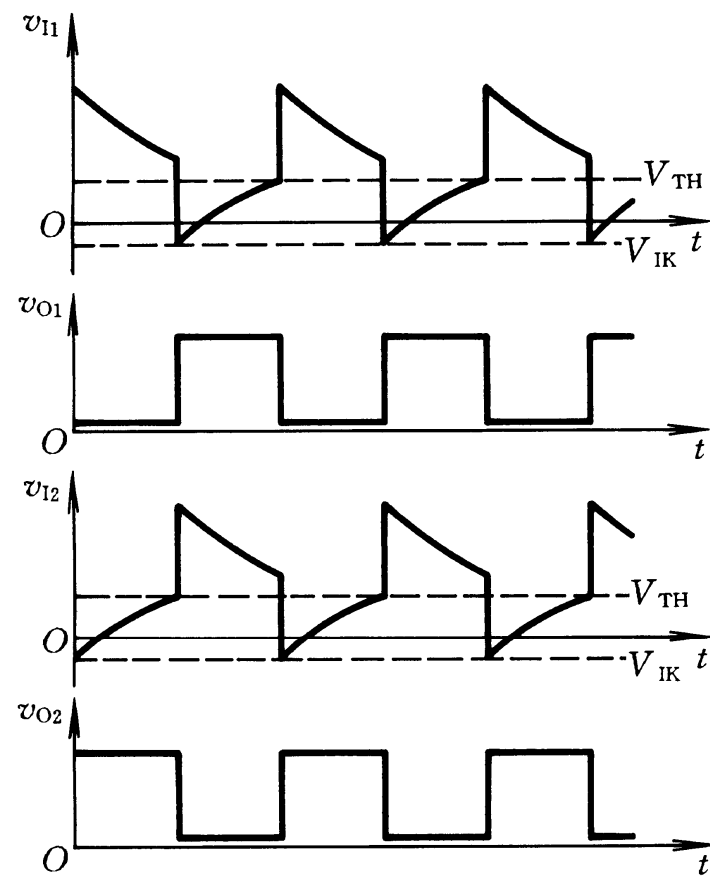
### 性能特点：

- ①没有稳态，有两个暂稳态。
- ②工作不需要外加信号源，只需要电源。

## § 7.4.1 对称式多谐振荡电路

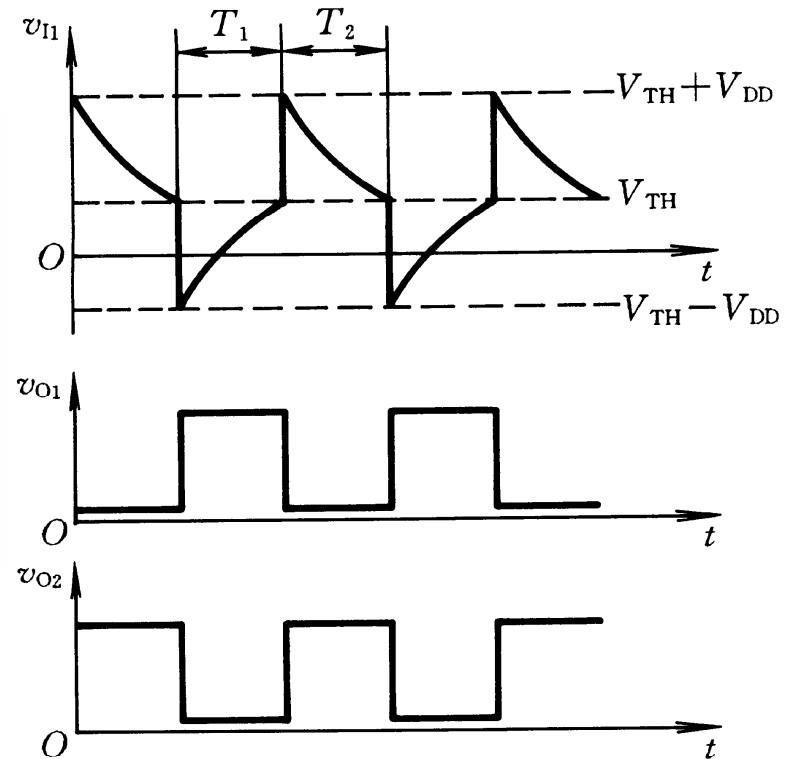
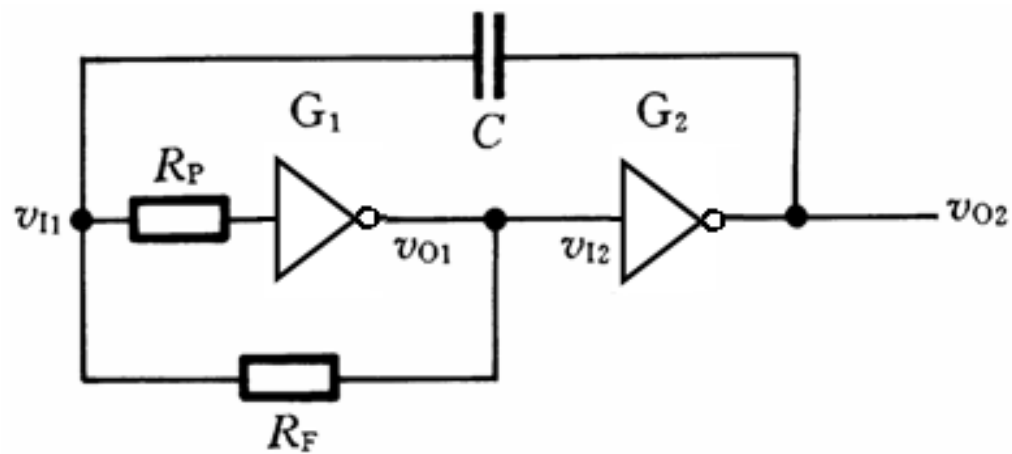


$$T \approx 1.3 R_F C$$



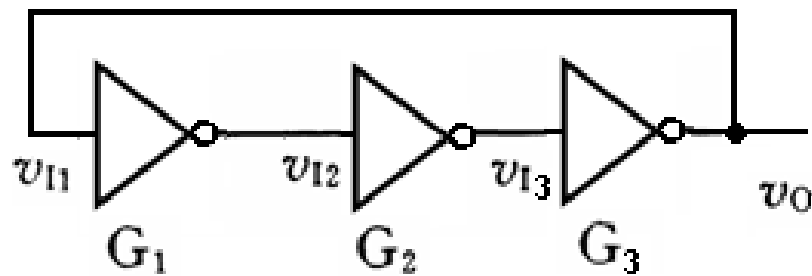


## § 7.4.2 非对称式多谐振荡电路

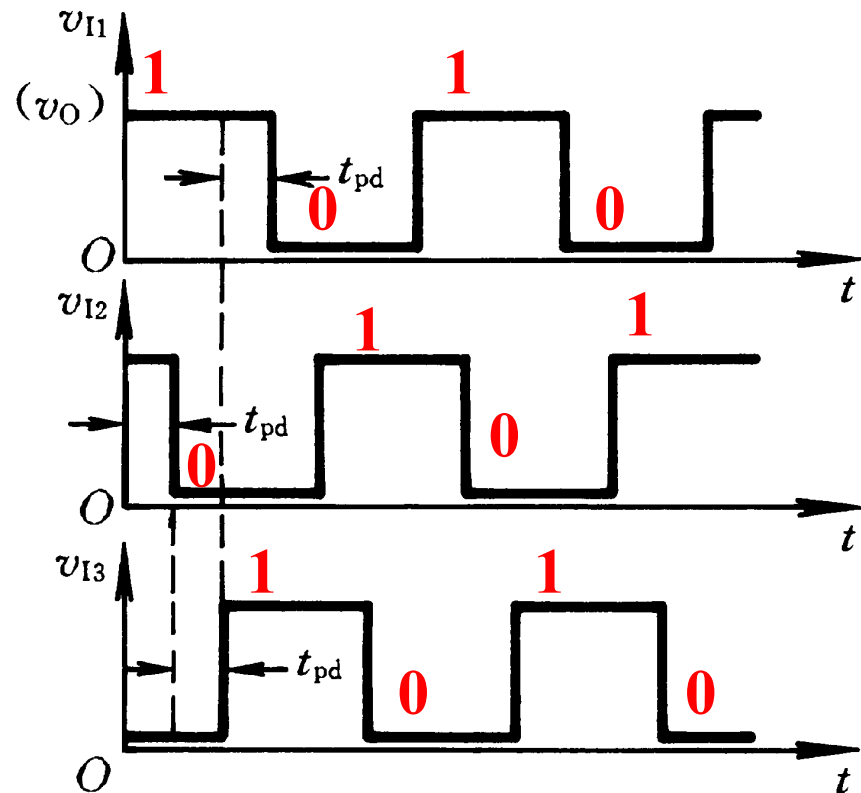


$$T \approx 2.2 R_F C$$

### § 7.4.3 环形振荡电路

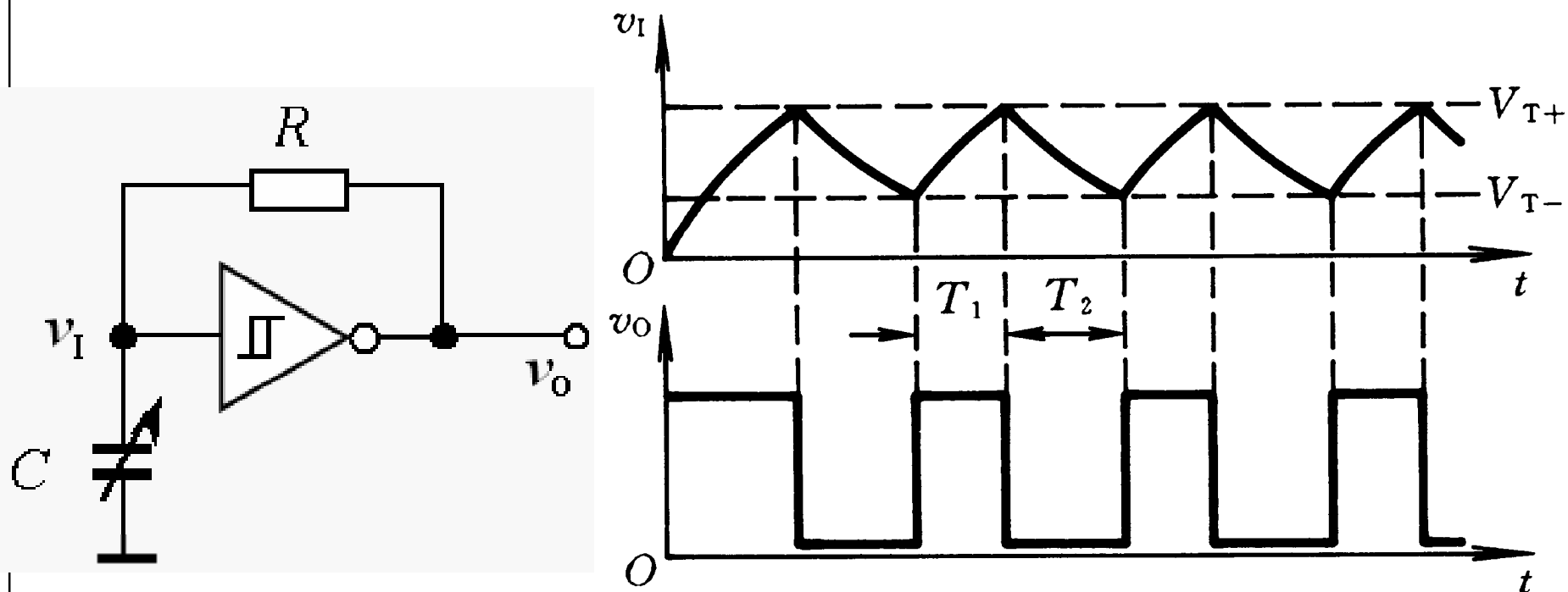


$$T=2nt_{pd}$$



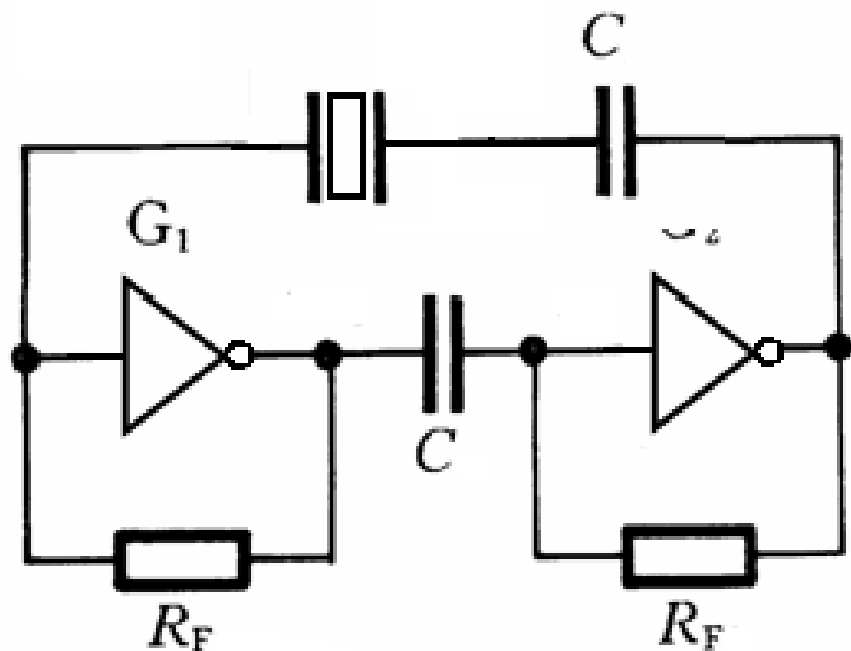
利用延迟负反馈产生振荡。将任何大于、等于3的奇数个反相器首尾相连接成环形电路，都能产生自激振荡。电路简单，但不实用。

## § 7.4.4 施密特触发器构成的多谐振荡电路

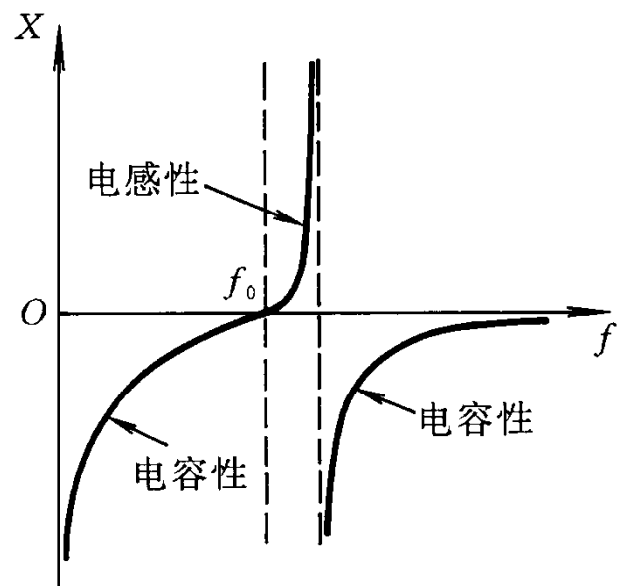


### § 7.4.5 石英晶体多谐振荡电路

在许多应用场合下都对多谐振荡器的振荡频率稳定性有严格的要求。前面几种电路频率稳定性不是很高。在对频率稳定性有较高要求时，应采用石英晶体多谐振荡器。



电路的振荡频率取决于石英晶体的固有振荡频率。



## 本节小结

多谐振荡电路没有稳定状态，只有两个暂稳态。工作不需要外加信号源，只需要电源。

要想得到频率稳定性高的多谐振荡电路时，应采用石英晶体多谐振荡电路。

## 7.5 555定时器及其应用

**555定时器**是一种多用途的数字—模拟混合集成电路。该电路功能灵活、适用范围广，只要外围电路稍作配置，即可构成**单稳态触发器**、**多谐振荡器**或**施密特触发器**，因而可应用于定时、检测、控制、报警等方面。

**集成555定时器**因为其内部有3个精密的 $5\text{K}\Omega$ 电阻而得名。后来国内外许多公司和厂家都相继生产出双极型和CMOS型555集成电路。虽然CMOS型3个分压电阻不再是 $5\text{K}\Omega$ ，但仍然沿用555名称。

目前一些厂家在同一基片上集成2个555单元，型号后加556，同一基片上集成4个555单元，型号后加558。

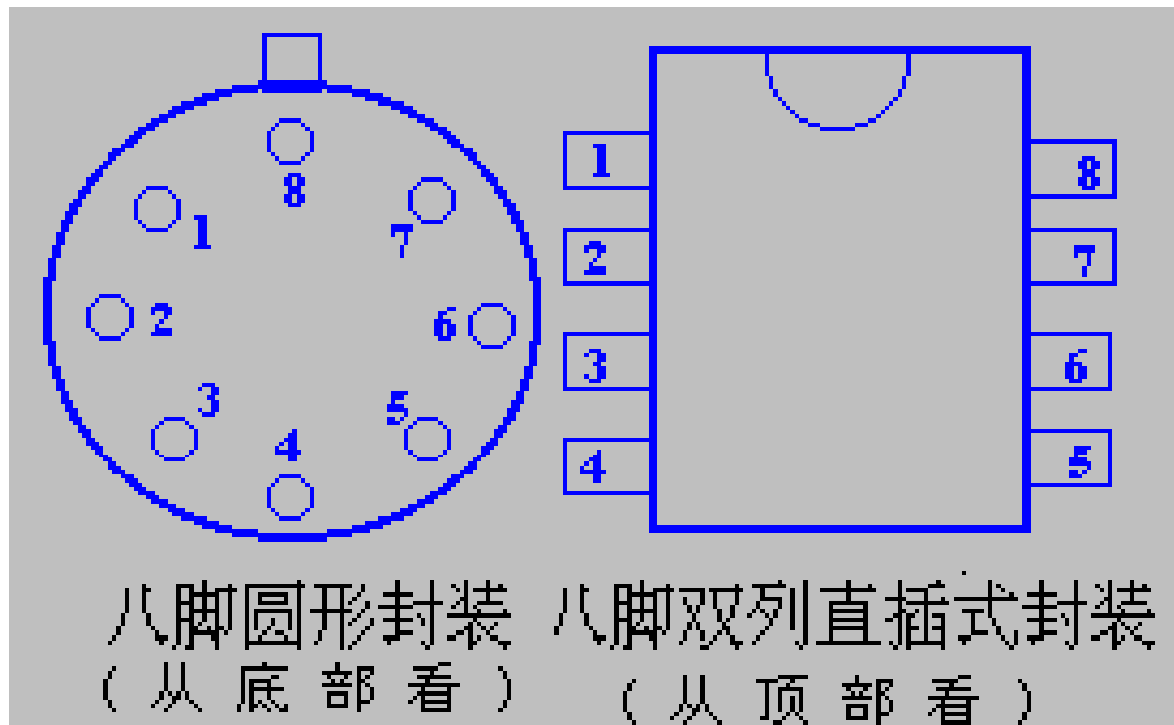


## 集成555定时器具体元件简介

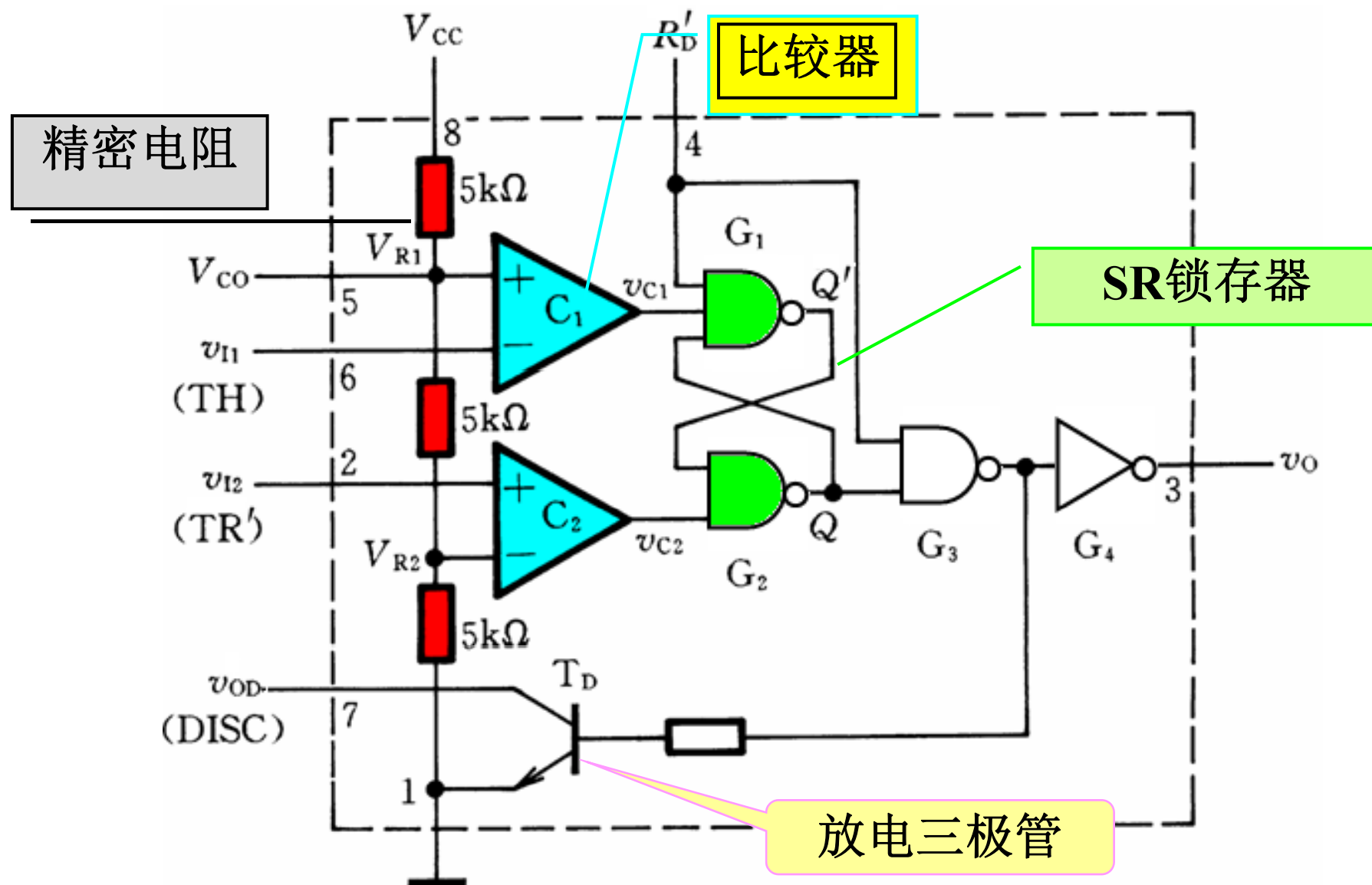
555定时器的封装一般有两种：

八脚圆形封装

八脚双列直插式封装。



## § 7.5.1 555定时器的电路结构与功能



电源5~16V

复位端

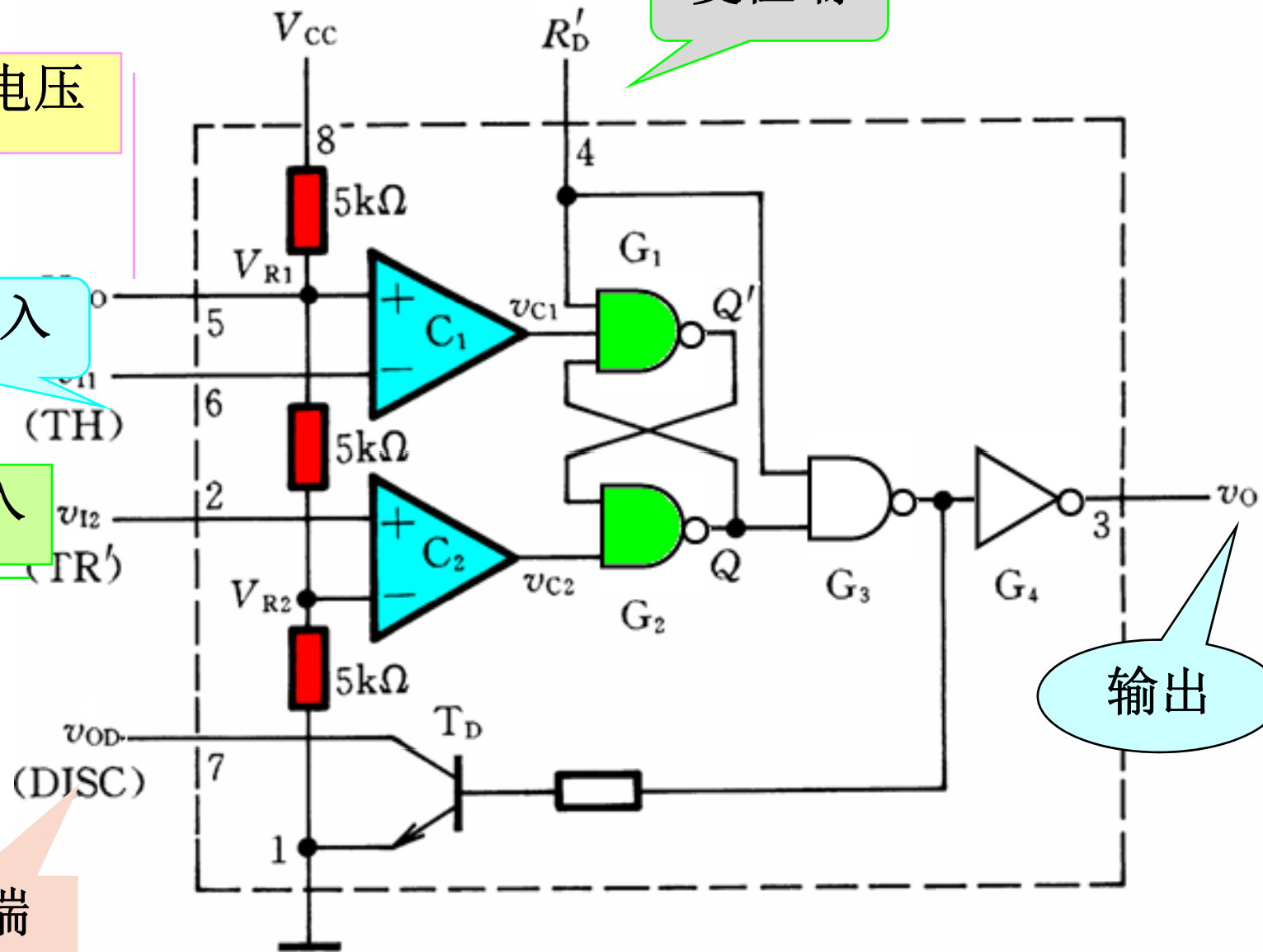
控制电压

阈值输入

触发输入

放电端

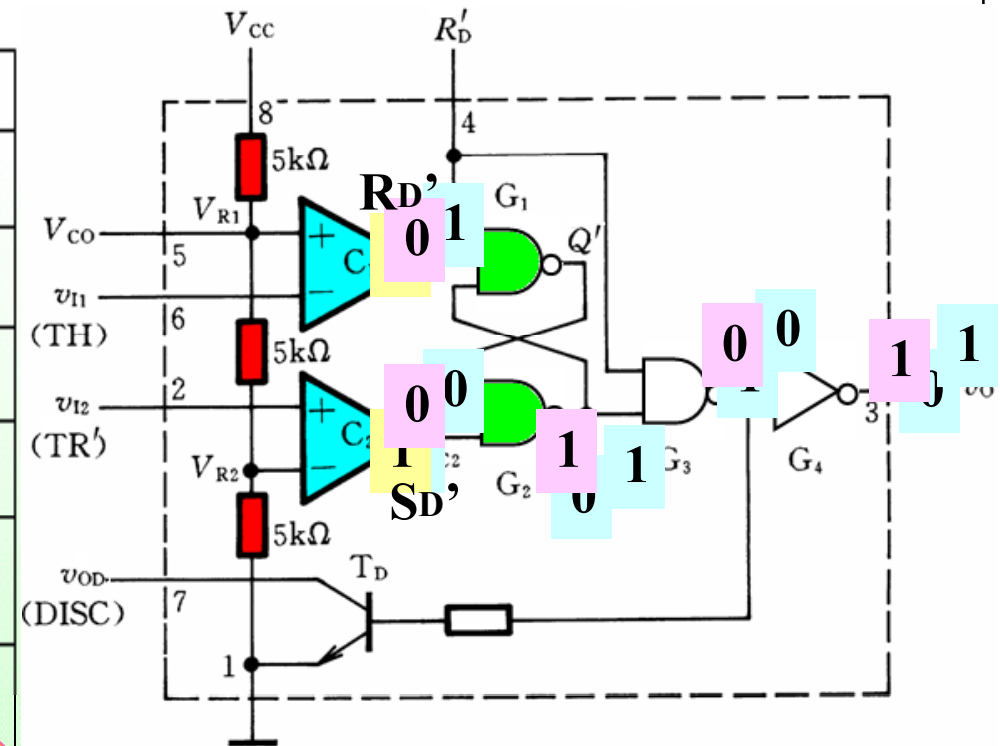
输出



当 $V_{CO}$ 悬空时,  $V_{R1}=2/3V_{cc}$ ,  $V_{R2}=1/3V_{cc}$



输入			输出	
$R'_D$	$v_{I1}(TH)$	$v_{I2}(TR')$	$v_o$	$T_D$ 状态
0	X	X	低	导通
1	$> 2/3V_{cc}$	$> 1/3V_{cc}$	低	导通
1	$< 2/3V_{cc}$	$1/3V_{cc}$	不变	不变
1	$< 2/3V_{cc}$	$1/3V_{cc}$	高	截止
1	$> 2/3V_{cc}$	$1/3V_{cc}$	高	截止



比较器C1输出 $v_{C1}=1$ ,比较器C2输出 $v_{C2}=0$ ,SR锁存器违反约束条件,输出为1,TD截止,同时 $v_o$ 平。

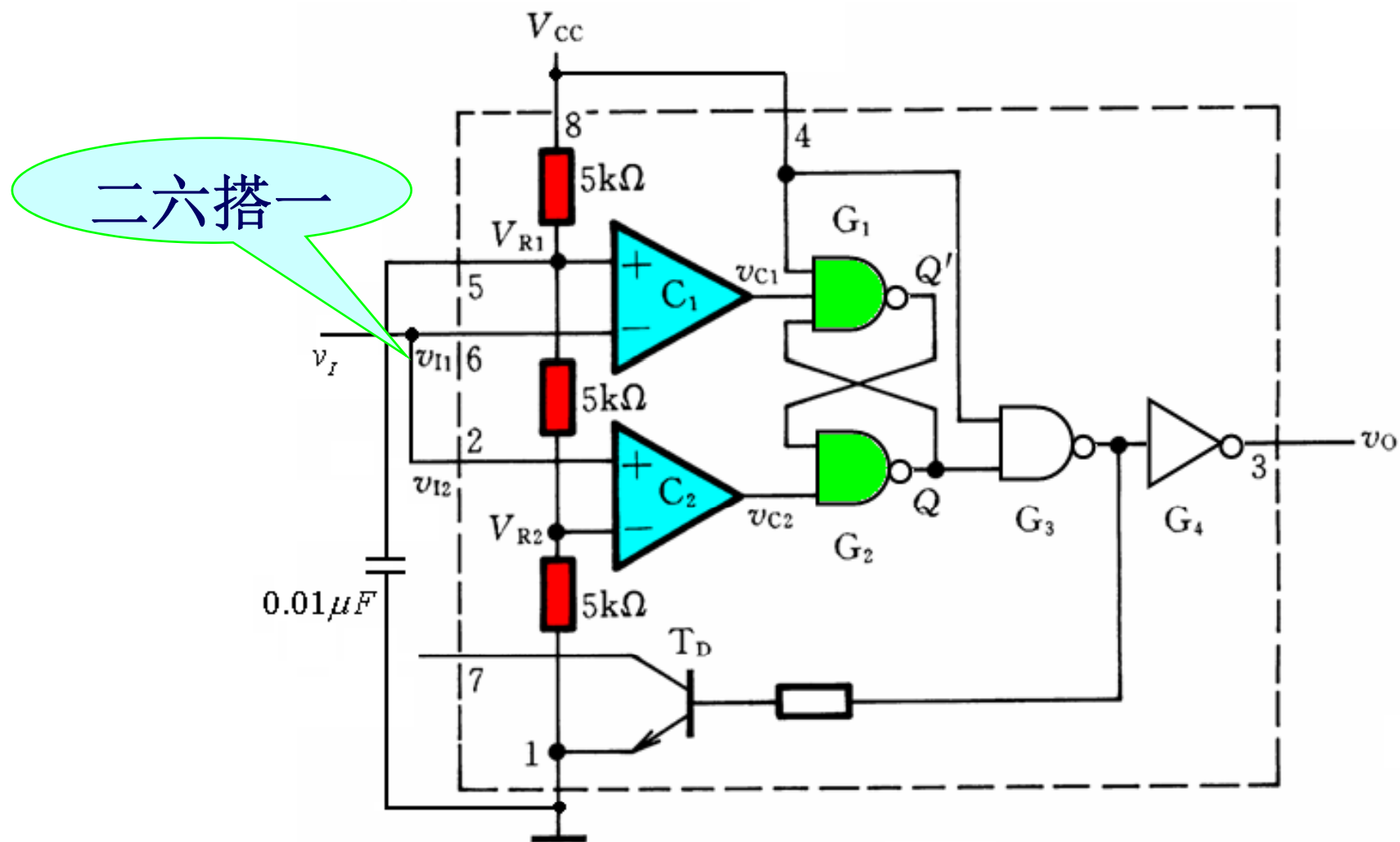
比较器C1输出 $v_{C1}=0$ ,比较器C2输出 $v_{C2}=0$ ,SR锁存器违反约束条件,输出为1,TD截止。

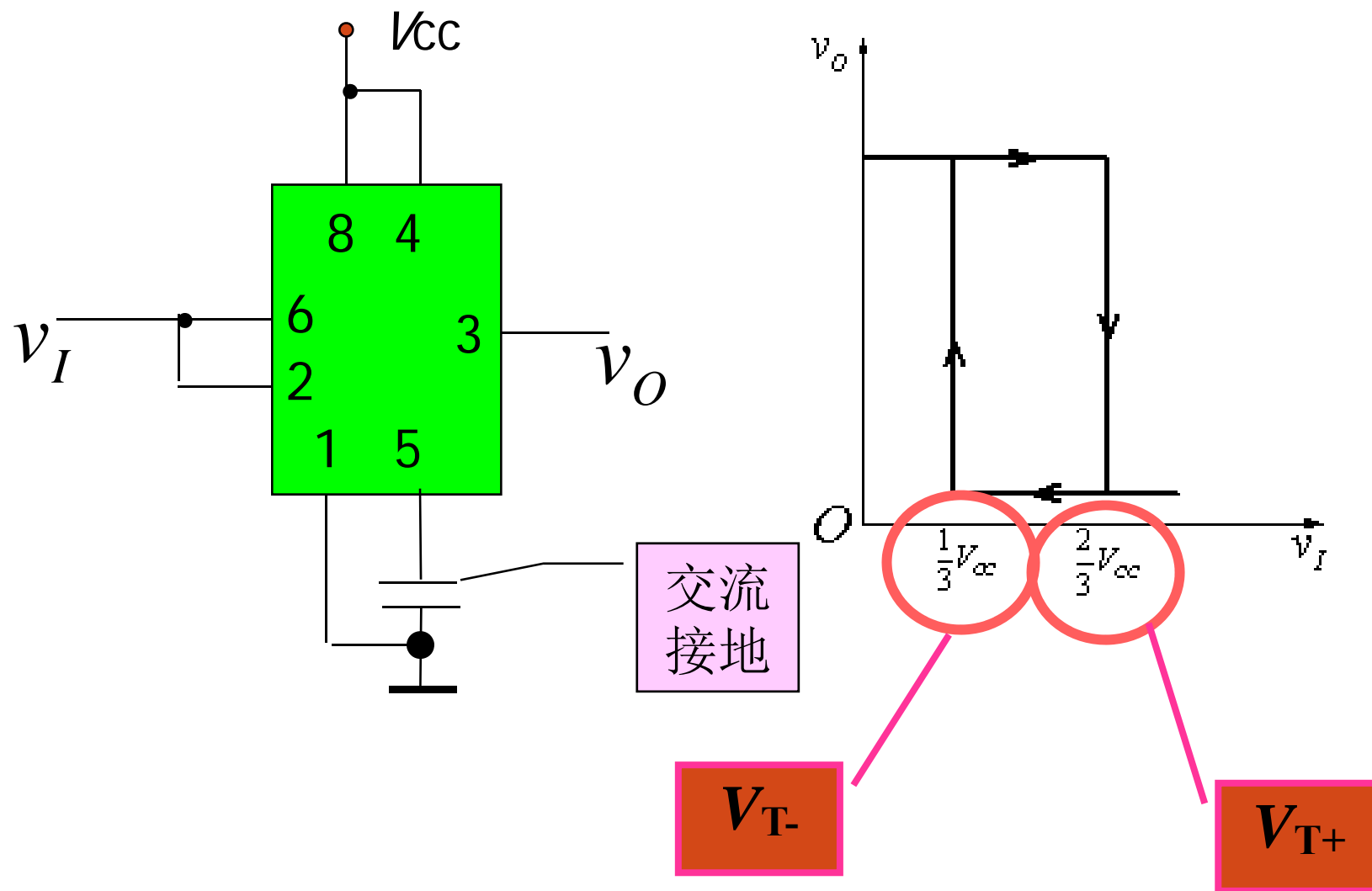
一般地(交流

由电路框图和功能表可以得出如下结论：

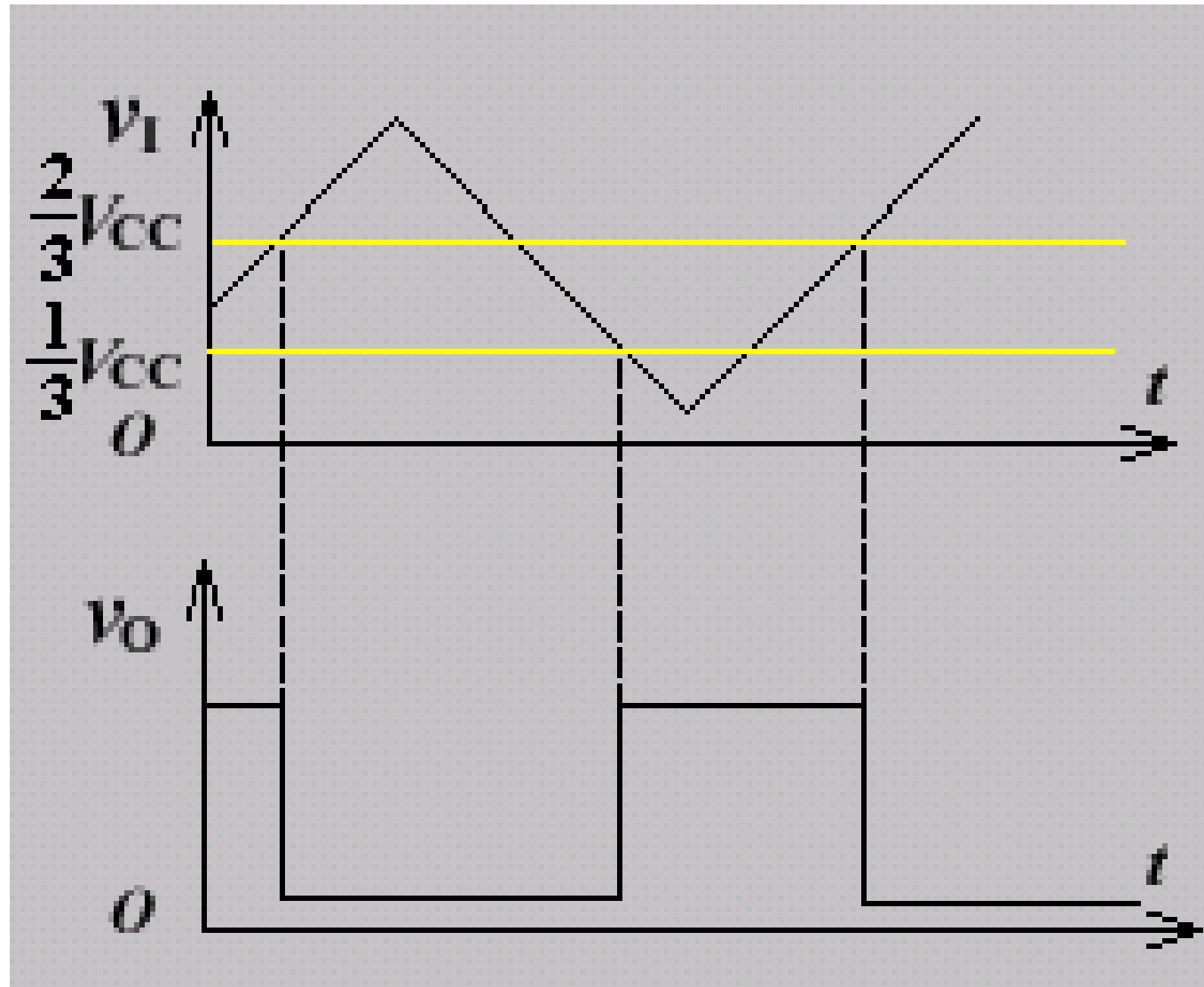
1. **555**定时器有两个阈值电压，分别是  $\frac{2}{3}V_{CC}$  和  $\frac{1}{3}V_{CC}$ 。
2. 输出端**3**脚和放电端**7**脚的状态一致，输出低电平对应放电管饱和，在**7**脚外接有上拉电阻时，**7**脚为低电平。输出高电平对应放电管截止，在有上拉电阻时，**7**脚为高电平。
3. 输出端状态的改变有滞回现象，回差电压为  $\frac{1}{3}V_{CC}$ 。

## § 7.5.2 555定时器接成施密特触发器

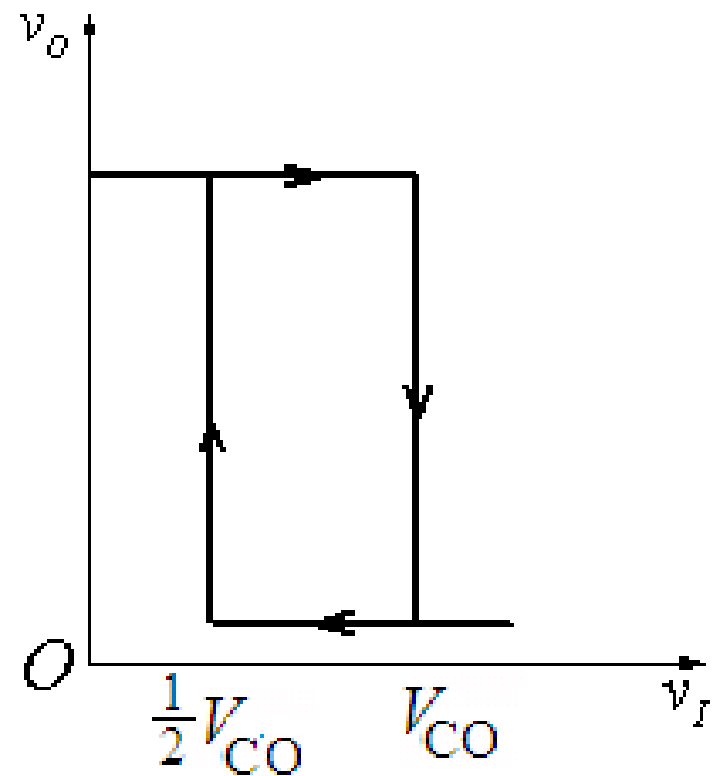
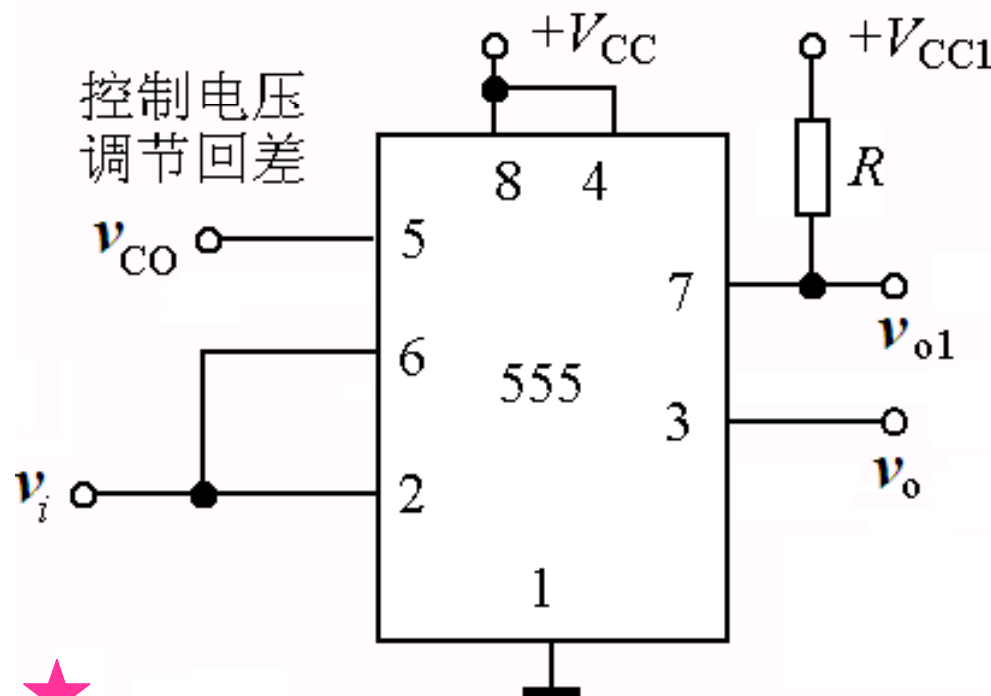




回差电压:  $\Delta V_T = V_{T+} - V_{T-} = \frac{1}{3}V_{CC}$





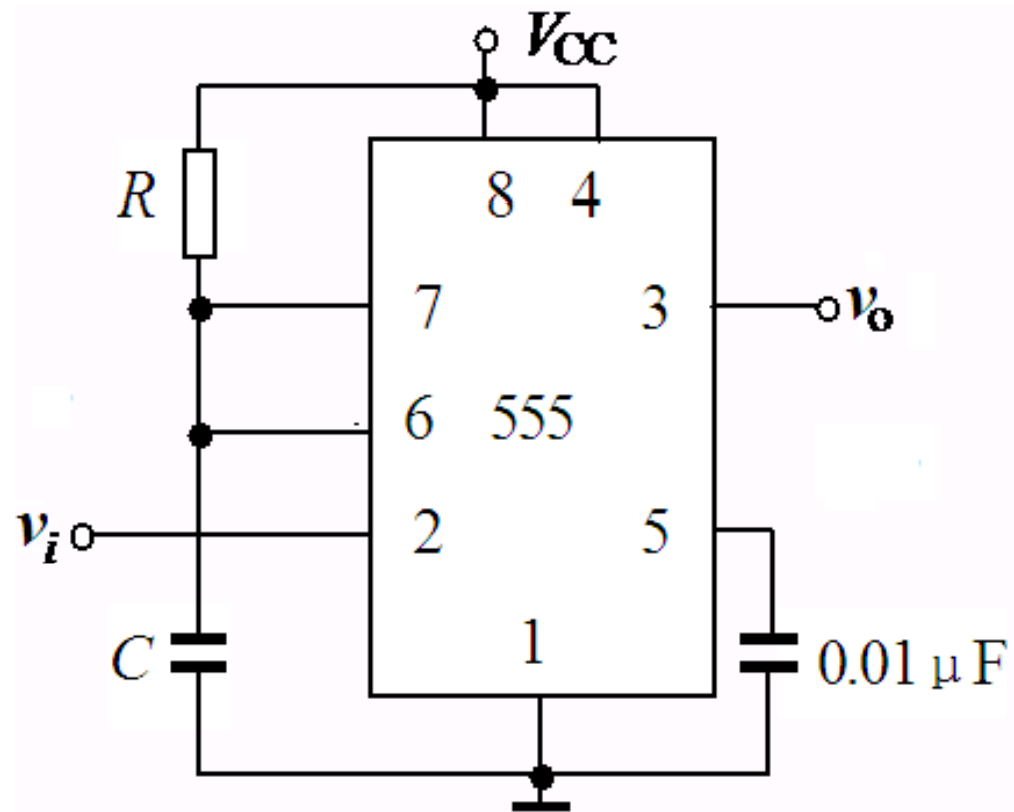


$$V_{T+} = V_{CO}$$

$$V_{T-} = \frac{1}{2}V_{CO}$$

$$\text{回差电压: } \Delta V_T = V_{T+} - V_{T-} = \frac{1}{2}V_{CO}$$

### § 7.5.3 555定时器接成单稳态触发器



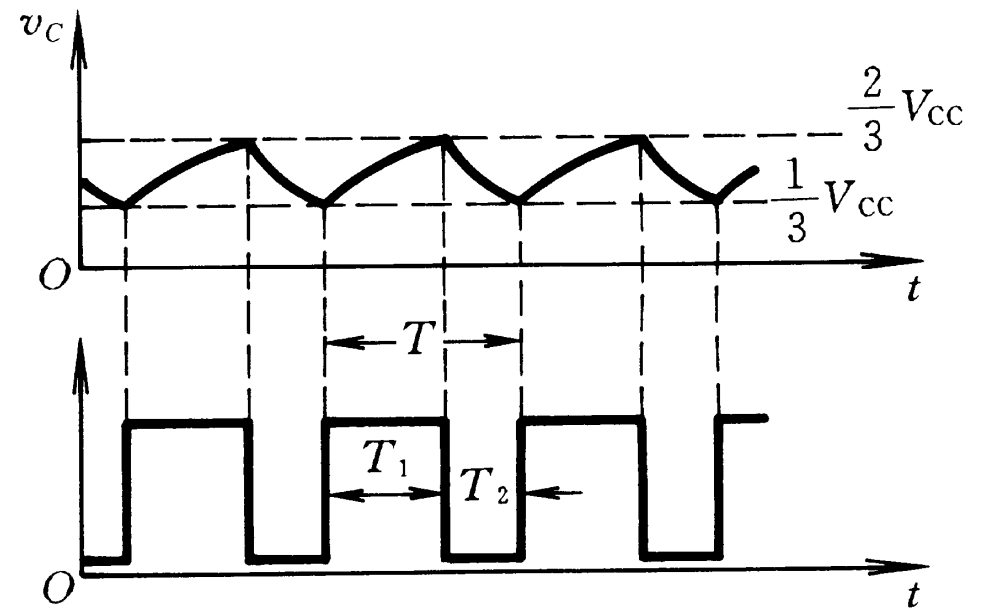
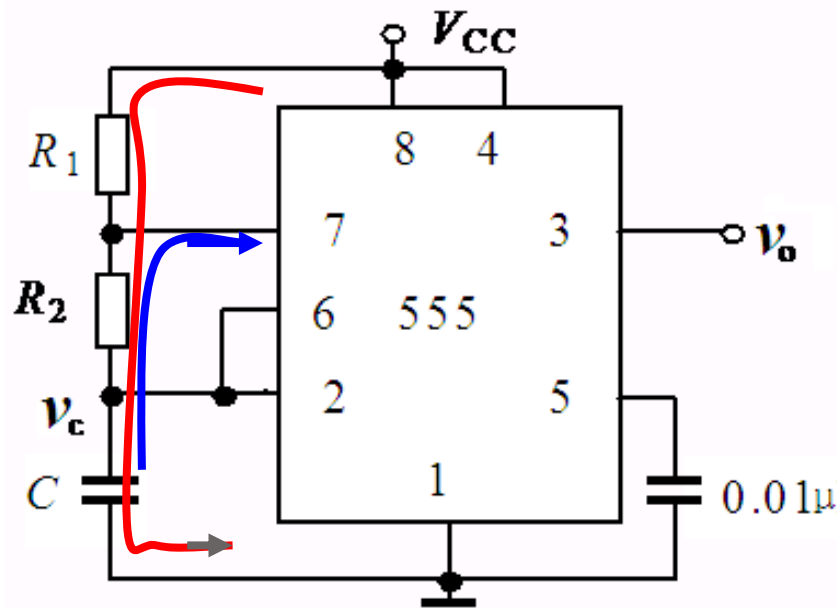
七六搭一，上R下C



## ◆ 特性:

- 这个单稳态触发器是负脉冲触发的。
- 稳态时，这个单稳态触发器输出低电平。
- 暂稳态时，这个触发器输出高电平。
- 该电路输出脉冲宽度为 $t_w = 1.1RC$ 。

## § 7.5.4 555定时器接成多谐振荡器

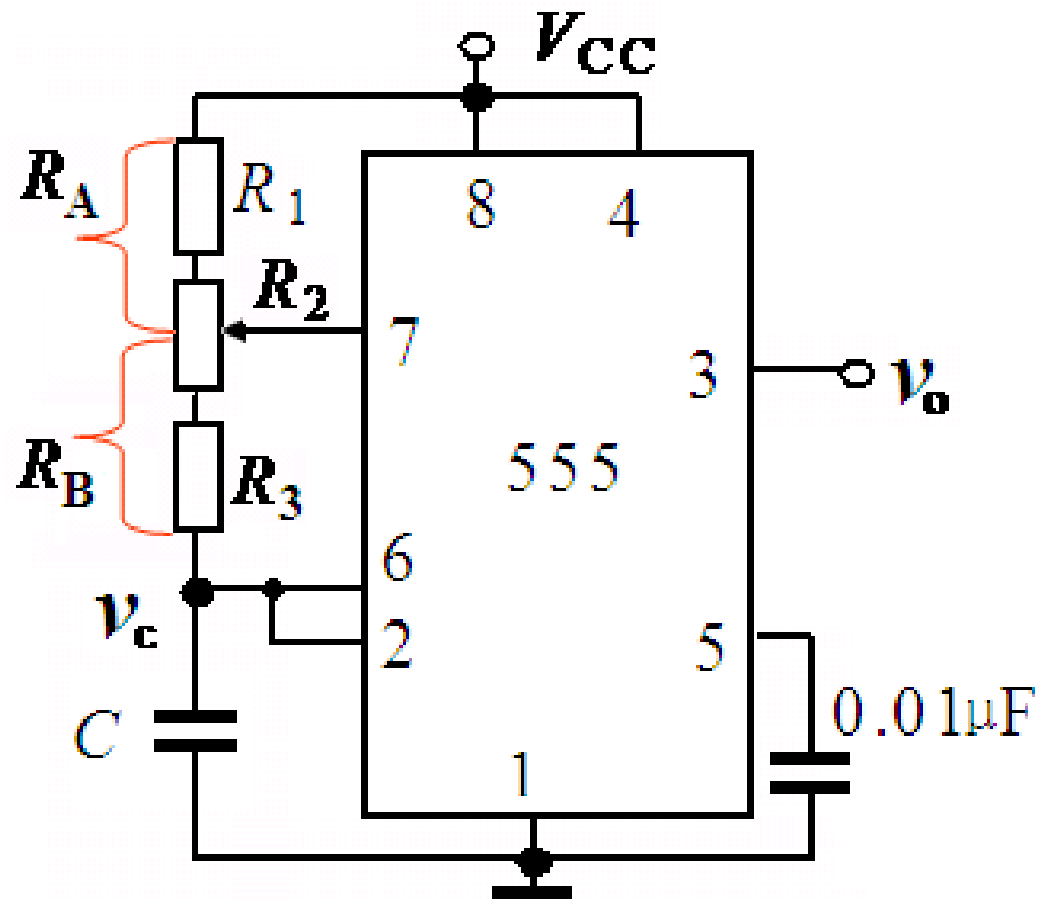


振荡周期:  $T = 0.69(R_1 + 2R_2)C$

输出脉冲占空比:  $q = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2R_2}$

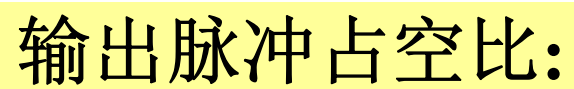
例10.5.1

占空比可调的多谐振荡器



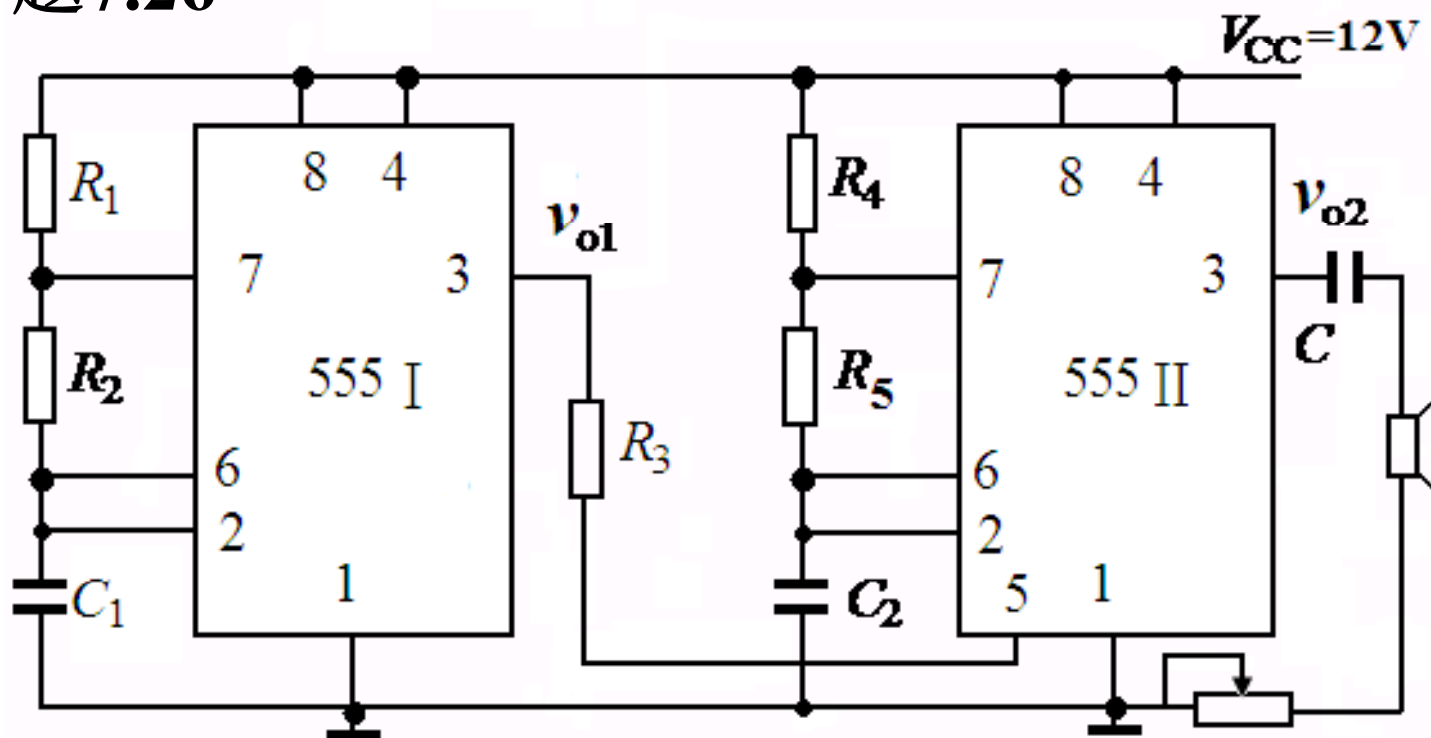
输出脉冲占空比:

$$q = \frac{R_A + R_B}{R_A + 2R_B}$$



$$q = \frac{R_A}{R_A + R_B}$$

## P387题7.26



两个555定时器均接成了多谐振荡器。

I输出接II  $V_{CO}$ , 控制其阈值电压  $V_{T+}$  和  $V_{T-}$ 。I的输出高低电平的持续时间决定了电路高低音持续时间, II的频率决定了高低音频率。



(1)  $v_{O1}$ 的高电平持续时间为:

$$t_H = (R_1 + R_2)C_1 \ln 2 = (10 + 150) \times 10^3 \times 10 \times 10^{-6} \times 0.69 = 1.1s$$

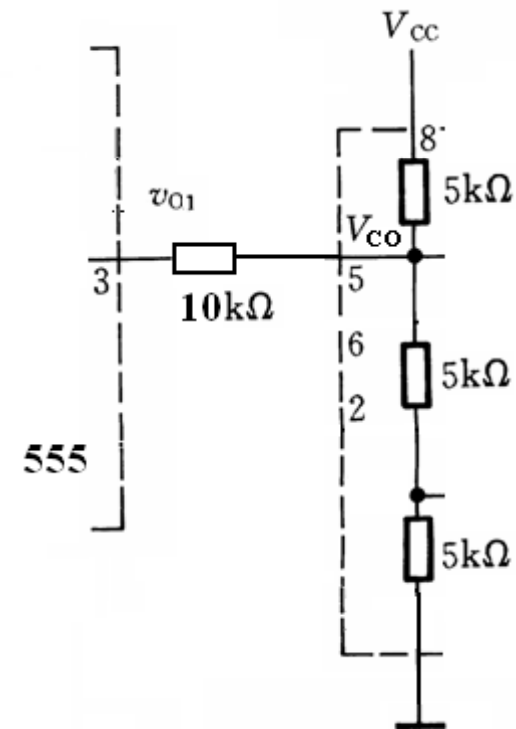
此时,  $v_{O1}$ 为11V.  $V_{CC}=12V$ ,由叠加定理可求得右边555定时器5脚电压

$V_{CO}=8.8V$ .因此,  $V_{T+}=8.8V, V_{T-}=4.4V$

II片555定时器振荡频率, 及扬声器声音的周期为:

$$\begin{aligned} T_1 &= (R_4 + R_5)C_2 \ln \frac{V_{CC} - V_{T-}}{V_{CC} - V_{T+}} + R_5 C_2 \ln \frac{0 - V_{T+}}{0 - V_{T-}} \\ &= (10 + 100) \times 10^3 \times 0.01 \times 10^{-6} \times \ln \frac{12 - 4.4}{12 - 8.8} + 100 \times 10^3 \times 0.01 \times 10^{-6} \times \ln 2 = 1.63 \times 10^{-3} s \end{aligned}$$

$$f_1 = \frac{1}{T_1} = 611Hz$$

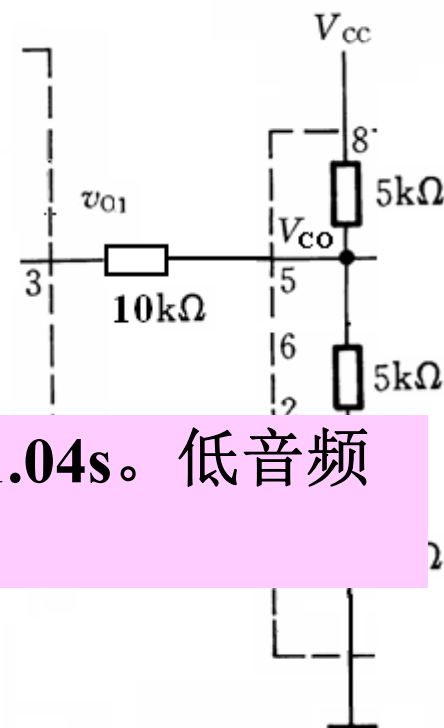


(2)  $v_{O1}$ 的低电平持续时间为:

$$t_L = R_2 C_1 \ln 2 = 150 \times 10^3 \times 10 \times 10^{-6} \times 0.69 = 1.04s$$

此时,  $v_{O1}$ 为0.2V.  $V_{CC}=12V$ ,由叠加定理可求得右边555定时器5脚电压

$V_{CO}=6V$ .因此,  $V_{T+}=6V, V_{T-}=3V$



因此可知, 高音频率为876Hz, 持续时间1.04s。低音频率为611Hz, 持续时间1.1s。

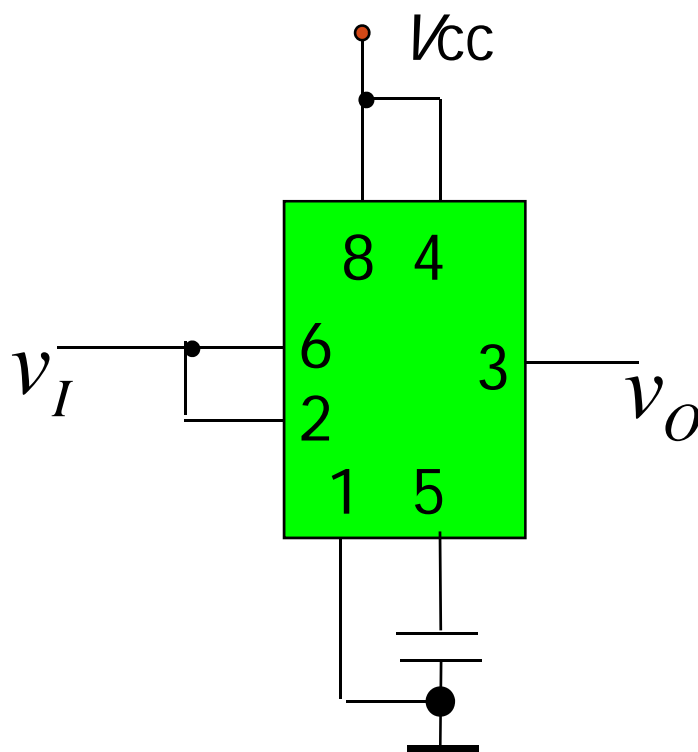
$$T_2 = (R_4 + R_5)C_2 \ln \frac{V_{CC} - V_{T-}}{V_{CC} - V_{T+}} + R_5 C_2 \ln \frac{0 - V_{T+}}{0 - V_{T-}}$$

$$= (10 + 100) \times 10^3 \times 0.01 \times 10^{-6} \times \ln \frac{12 - 3}{12 - 6} + 100 \times 10^3 \times 0.01 \times 10^{-6} \times \ln 2 = 1.14 \times 10^{-3} s$$

$$f_2 = \frac{1}{T_2} = 876Hz$$

## 本节小结

### 555定时器接成施密特触发器



$$V_{T+} = \frac{2}{3}V_{CC}$$

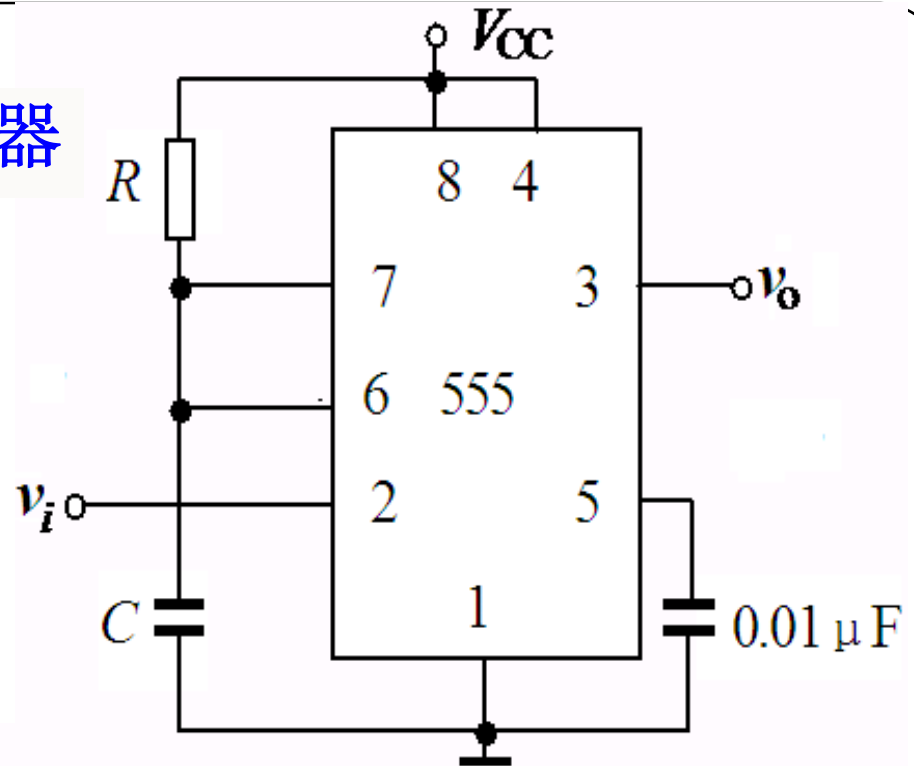
$$V_{T-} = \frac{1}{3}V_{CC}$$

回差电压:  $\Delta V_T = \frac{1}{3}V_{CC}$

## 555定时器接成单稳态触发器

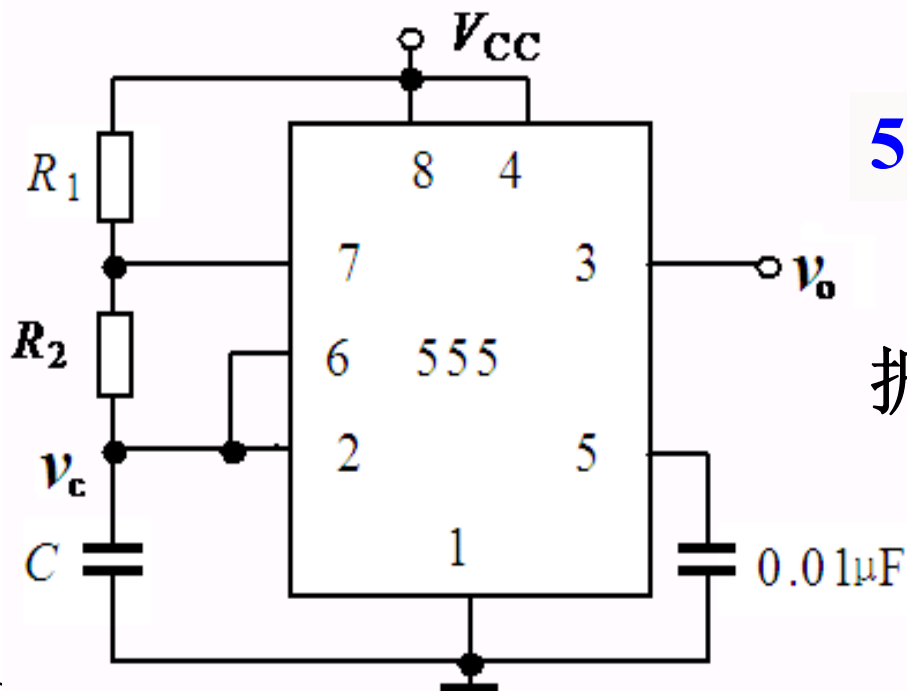
负脉冲触发，脉冲宽度：

$$t_w = 1.1RC$$



## 555定时器接成多谐振荡器

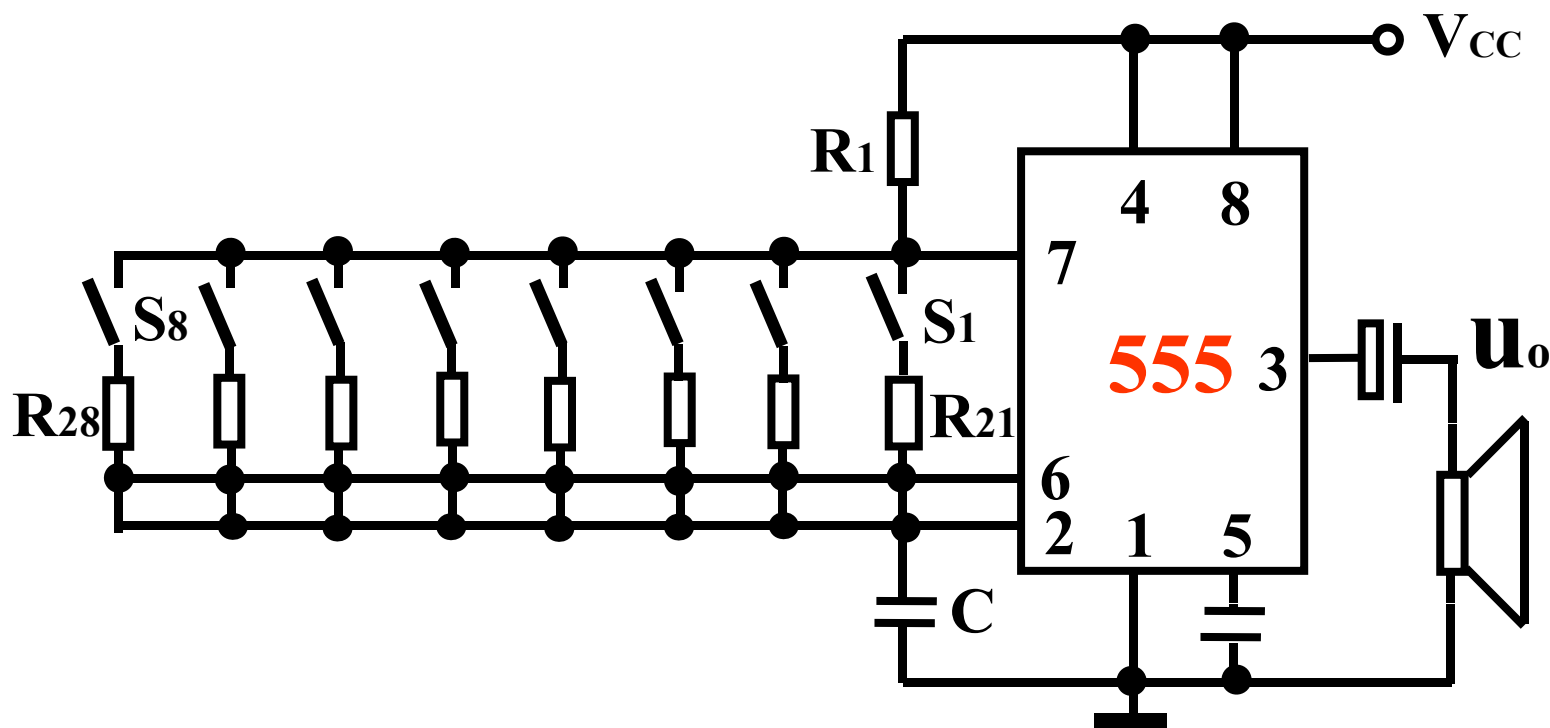
振荡周期： $T = 0.69(R_1 + 2R_2)C$





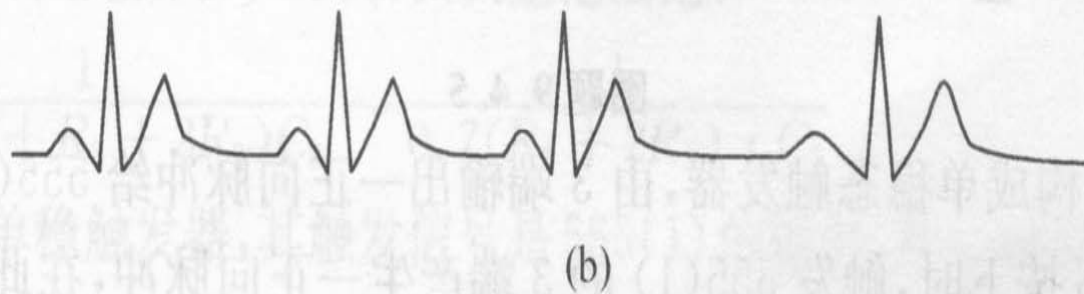
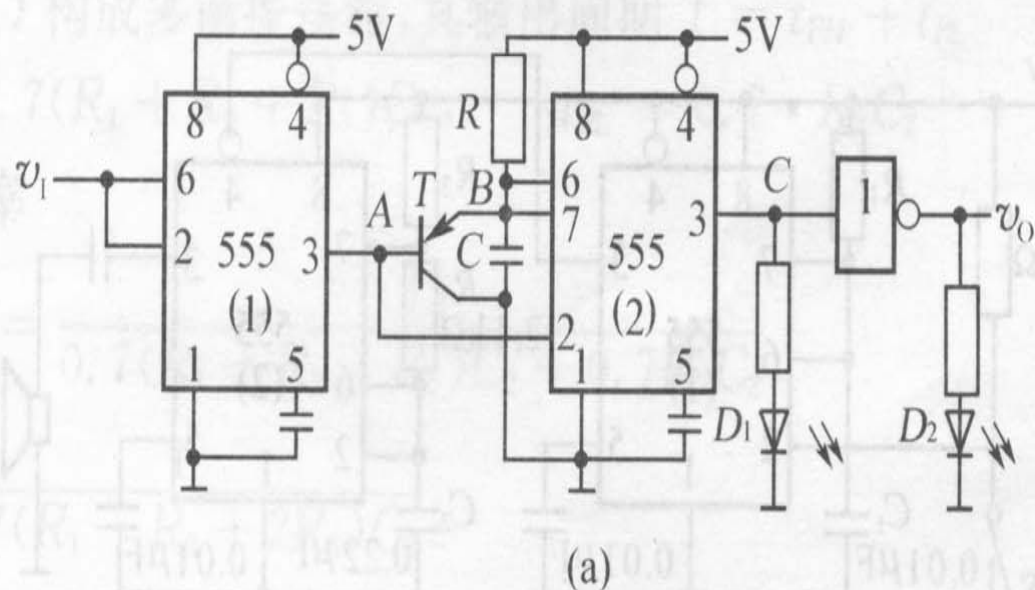
## 简易电子琴电路：

简易电子琴就是通过改变 $R_2$ 的阻值来改变输出方波的周期，使外接的喇叭发出不同的音调。

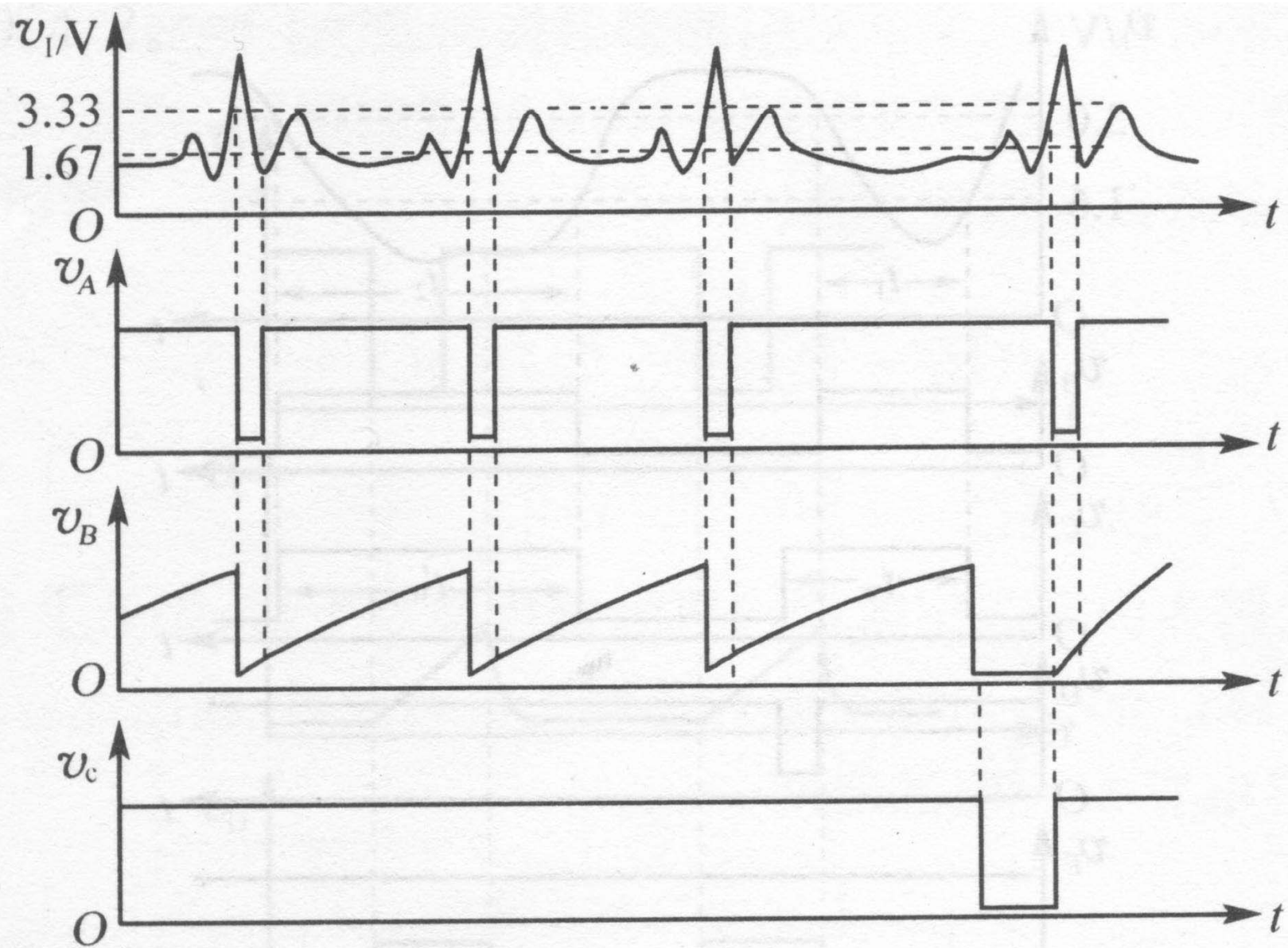


简易电子琴电路图

**9.4.4** 图题 9.4.4a 为心律失常报警电路,经放大后的心电信号  $v_i$  如图 b 所示,  $v_i$  的幅值  $v_m = 4V$ 。(1) 对应  $v_i$  分别画出图中 A、B、C 三点波形;(2) 说明电路的组成及工作原理。

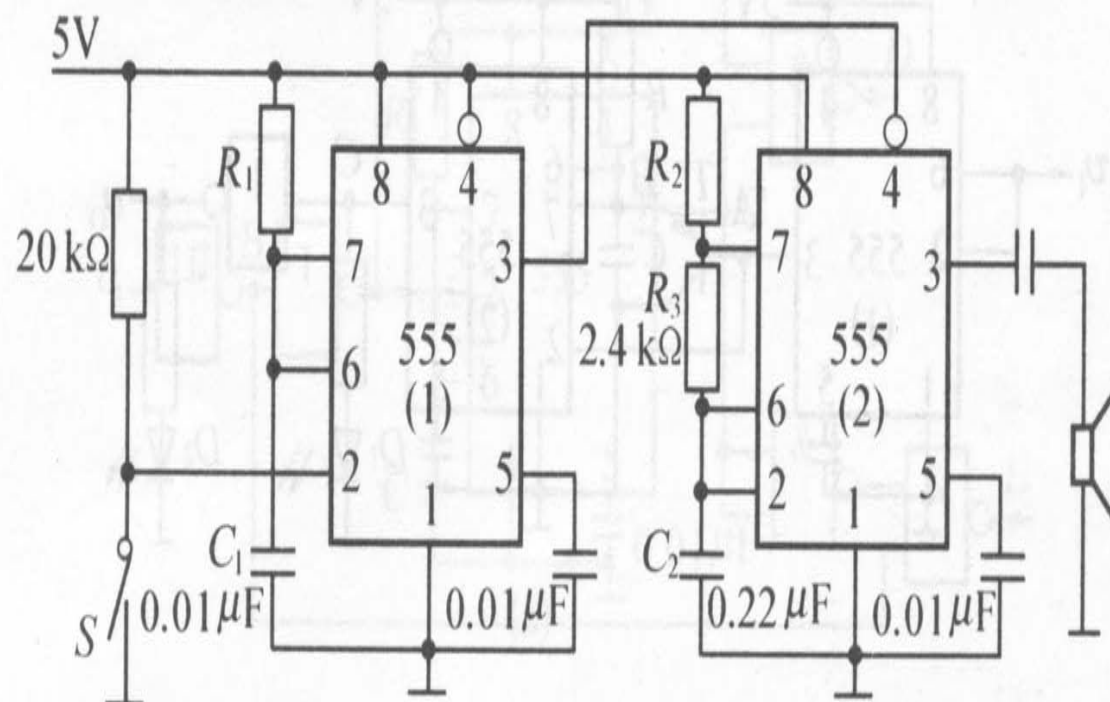


图题 9.4.4



图解 9.4.4

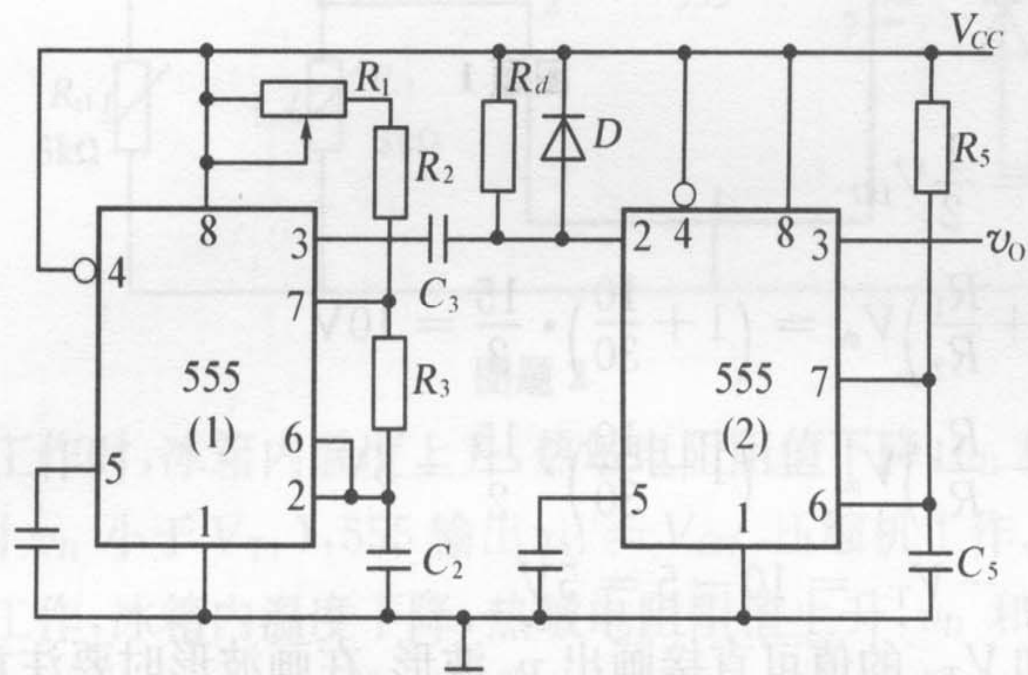
**9.4.5** 分析如图题 9.4.5 所示电路,简述电路组成及工作原理。若要求扬声器在开关 S 按下后,以 1.2kHz 的频率持续响 10s,试确定图中  $R_1$ 、 $R_2$  的阻值。



图题 9.4.5



**9.4.6** 图题 9.4.6 所示电路为两个 555 定时器构成的频率可调、而脉宽不变的方波发生器，试说明工作原理；确定频率变化范围和输出脉宽；解释二极管  $D$  在电路中的作用。

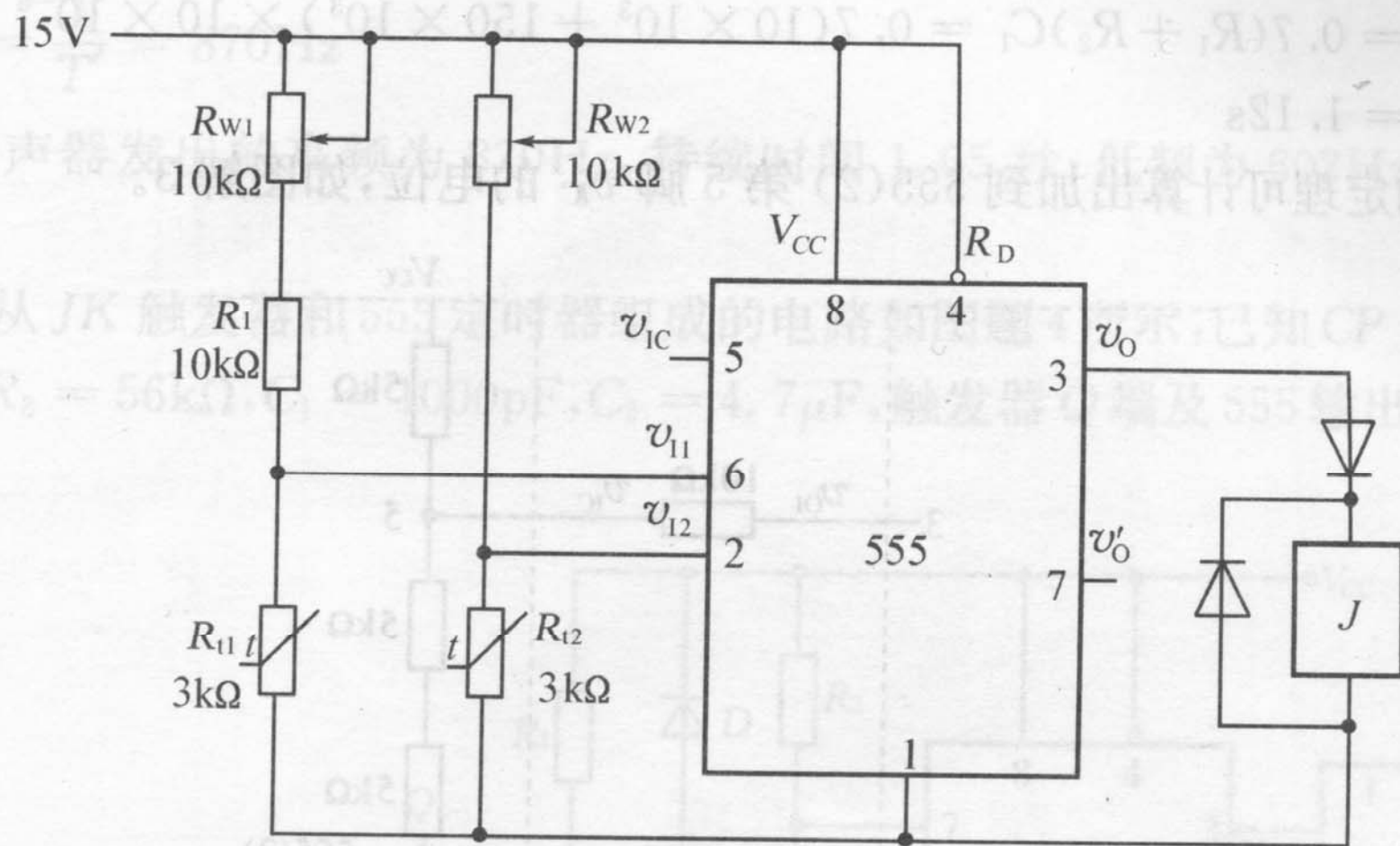


图题 9.4.6

2. 图题 2 是一个用 555 定时器组成的电路,用来实现对冰箱温度的控制。 $R_{t1}$  和  $R_{t2}$  均为负温度系数热敏电阻, $J$  为冰箱压缩机控制继电器线圈, $J$  通电,压缩机工作,反之停机。

(1) 简述整个电路的工作原理,并求出回差电压  $\Delta V_T$ 。

(2) 说明图中  $R_{w1}$  和  $R_{w2}$  的作用。



图题 2

